

К. А. Горбунова, В. Н. Андрейчук,  
В.П. Костарев, Н. Г. Максимович

КАРСТ И ПЕЩЕРЫ  
ПЕРМСКОЙ ОБЛАСТИ



Издательство Пермского университета 1992

ББК 26.823

Г 67

Редактор Е. А. Огиенко

Рецензенты: Лаборатория охраны геологической среды  
геологического факультета московского университета, кандидат  
геолого-минералогических наук В. К. Кокаровцев

УДК 551.44

Г 67 Горбунова К. А., Андрейчук В. Н., Костарев В. П., Максимович  
Н. Г. Карст и пещеры Пермской области. — Пермь: Изд-во Пер.м. ун-та,  
1992.— 200 с.

ISBN 5—230—09308—0

Охарактеризованы геологические и гидрогеологические условия карстообразования, карстовые формы, проявляющиеся в различных геотектонических условиях на территории Пермской области. Рассмотрено влияние деятельности человека на течение карстовых процессов, показаны условия ведения различных видов строительства в карстовых районах, описаны методы оценки карстоопасности и противокарстовой защиты. Приведены данные о наиболее интересных карстовых пещерах.

Книга предназначена для геологов, географов, строителей, геоэкологов, спелеологов.

Табл. 19, Ил. 71. Библиогр. 179.

Gorbunova K. A., Andreytchuk V. N., Kostarcv V. P., Maximovich N. G. Karst and caves of Perm region. — Perm: Publishing House of Perm University, 1992.— 200 p.

There are described geological and hydrogeological conditions of kar-sting, karst forms in various gcotectonic situations. Technogenic impact on karst, the conditions of building in karst regions, the methods of karstdanger estimate and anti-karst protection methods are considered. There is given information on the most remarkable caves.

$$Г \frac{1805040300-12}{H 55(03)-92} 11-92$$

ISBN 5—230—09308—0

© К. А. Горбунова, В. Н. Андрейчук,  
В. П. Костарев, Н. Г. Максимович, 1992

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1958 г. Пермским книжным издательством была выпущена книга «Карст Пермской области», которая привлекла внимание большого числа читателей. Она использовалась при решении вопросов водоснабжения, разработки полезных ископаемых, организации различных видов строительных работ на закарстованных территориях. Со времени издания книги о карсте Пермской области прошло 35 лет. За этот период накоплен огромный фактический материал, поэтому возникла необходимость в его обобщении. Систематизация этого материала позволила осуществить районирование карста и охарактеризовать карстовые районы. Авторы не ограничились описанием карстопроявлений: воронок, котловин, исчезающих рек, провалов, пещер. Пермская область несет значительную техногенную нагрузку, которая во многих случаях является причиной активизации карстовых процессов и возникновения аварийных ситуаций.

Знание закономерностей пространственного распределения карста, влияния на него естественных и антропогенных факторов помогает более точно прогнозировать карстовый процесс, оценивать карстоопасность отдельных территорий и осуществлять выбор наиболее эффективных противокарстовых мероприятий. С учетом этих положений один из разделов книги посвящен анализу условий строительства в карстовых районах.

К. А. Горбунова

## ВВЕДЕНИЕ

На значительной части территории Пермской области (около 30 тыс. км<sup>2</sup>) выходят на поверхность или залегают неглубоко от нее карстующиеся породы: известняки, доломитизированные известняки, доломиты, гипсы, ангидриты, соли. В них широко распространен современный и древний карст. Карст оказывает влияние на многие стороны хозяйственной деятельности: гражданское, промышленное, гидротехническое строительство; разработку полезных ископаемых; водоснабжение. Карст учитывается при сооружении линейных объектов: магистральных трубопроводов, железнодорожных и автомобильных магистралей, мостовых переходов и линий электропередач. На ликвидацию аварийных последствий при карстовых провалах, предотвращение обводнения шахт, решение вопросов водоснабжения в карстовых районах затрачиваются значительные средства. Пермская область отличается интенсивной техногенной нагрузкой. Техногенные воздействия на геологическую среду активизируют карстовый процесс, что может привести к возникновению катастрофических явлений, изменению экологического состояния окружающей среды.

Карстовые области обладают водными и минеральными ресурсами. Закарстованные карбонатные породы являются водообильными зонами, содержащими значительные запасы пресной воды. К древним закарстованным толщам приурочены месторождения нефти, минеральных вод, к карстовым и эрозионно-карстовым формам — месторождения алмазов, торфа, огнеупорных глин и песков, охры. Во многих странах карстовые районы с их живописными ландшафтами, памятниками природы — пещерами, обильными родниками, исчезающими реками, своеобразными озерами, объявляются национальными парками и заповедными территориями.

Рациональное решение многих хозяйственных вопросов (проектирования, строительства, эксплуатации инженерно-

геологических объектов), использование водных и минеральных ресурсов карстовых областей, их охрана возможны только на основе знания закономерностей распространения и развития карста.

В настоящей книге дано понятие о карсте, описаны карстопроявления на территории Пермской области, охарактеризовано влияние на них хозяйственной деятельности, рассмотрены условия строительства в карстовых районах. В ней обобщены данные о карсте, содержащиеся в опубликованных литературных источниках и фондовых материалах, в частности, отчетах по гидрогеологическим съемкам масштаба 1:200000 Сылвинской гидрогеологической партии (фонды Пермской геологоразведочной экспедиции), а также диссертационных работах.

Введение, «Общие сведения о территории Пермской области», «Основные понятия и термины», вся региональная часть, кроме разделов «Пещеры», написаны К. А. Горбуновой. Разделы «Пещеры», глава «Деятельность человека и ее влияние на карст» без двух разделов — «Гипсоносные породы как основания плотин» и «Защита гипса в основании Камской ГЭС от растворения», автором которых является Н. Г. Максимович, написаны В. Н. Андренчуком. Глава «Инженерно-геологические изыскания и строительство в карстовых районах» принадлежит В. П. Костареву. Схематические карты карстовых районов составлены К. А. Горбуновой.

Авторы благодарят И. А. Лаврова, О. В. Макарову, Л. Г. Кокшарову, Г. Е. Михалеву, Н. В. Суходоеву за помощь в сборе материала по карсту и пещерам.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОЙ ОБЛАСТИ

**Физико-географические условия.** Пермская область относится к двум геоморфологическим странам: горному складчатому Уралу (20% площади) и Восточно-Европейской равнине (80%). Она вытянута с севера на юг на 600, с запада на восток — на 400 км. Площадь ее составляет 160,0 тыс. км<sup>2</sup>. Современный рельеф сформировался в результате взаимодействия эндогенных и экзогенных геологических процессов.

В схеме, геоморфологического районирования Пермской области Г. А. Максимович и Е. И. Вохмянина [111] выделяют страны, области и районы (рис. 1).

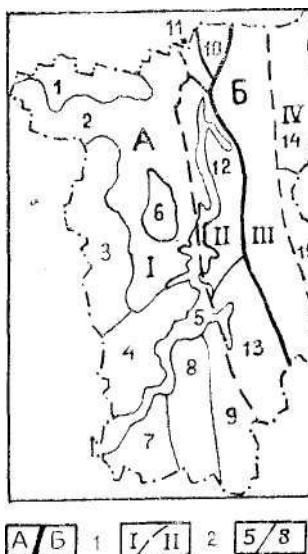


Рис. 1. Схема

геоморфологического районирования Пермской области. Границы: 1 — стран, 2 — областей, 3 — районов [111]

Территории свойственны как широтная зональность, особенно в равнинной части, так и вертикальная поясность в горах геологических процессов.

Климат Пермской области континентальный, что проявляется в значительных годовых и суточных колебаниях почти всех метеорологических элементов. Абсолютная амплитуда температуры воздуха для г. Красновишерска составляет  $88^{\circ}$ , для г. Перми —  $82^{\circ}$ . Показателем теплового режима является средняя годовая температура воздуха. Она изменяется от  $-2$  до  $+2^{\circ}$ . Средняя многолетняя температура воздуха за январь понижается с юго-запада на северо-восток от  $-15$  до  $-18^{\circ}$ , а за июль от  $+18,7$  до  $+15^{\circ}$ .

Территория области расположена на пути движения западных, юго-западных и северо-западных влагоносных воздушных масс. Ежегодно она получает 450—600 мм осадков в равнинной части и 600—1000 мм в горах. Большая часть осадков выпадает в теплое полугодие [155].

Страна А. Восточно-Европейская равнина

I. Область Камских равнин, увалов, возвышенностей с районами: 1 — Северные увалы, 2 — Верхнекамская равнина, 3 — Верхнекамская возвышенность, 4 — Верещагинско-Васильевские увалы, 5 — Среднекамская долина, 6 — Верхнекондасские увалы, 7 — Усинская возвышенность, 8 — Тулвинская возвышенность, 9 — Уфимское плато с Сылвинским кряжем.

II. Область Предуральских равнин и кряжей с районами: 10 — Колво-Вишерская равнина, 11 — Полудов кряж, 12 — Соликамская равнина, 13 — Лысьвинско-Тулумбасская возвышенная равнина.

Страна Б. Складчатый Урал

III. Область западных увалистых предгорий. IV. Область горного Урала с районами: 14 — среднегорный Северный Урал, 15 — низкогорный Средний Урал.

Климат наряду с рельефом, геологическим строением и растительностью обуславливает распределение поверхностных вод. В области насчитывается 545 рек длиной свыше 9 км, общей протяженностью около 30 тыс. км, 750 озер и 341 пруд площадью более 1 га. Главной водной артерией является р. Кама, принимающая левые и правые притоки.

Свыше 77% площади Пермской области покрыто почвами подзолистого и болотного типов. В равнинной части подзолистый и болотный типы почв сменяются с севера на юг на подтипы северных лесных и оподзоленных черноземных почв, а в горах горные лесные подзолистые с высотой переходят в горно-тундровые.

Около 60% площади занято лесом. В водосборах верхней Камы, Колвы, Вишеры, Косьвы, Язьвы, Яйвы, Чусовой лесистость выше средней на 10—20%, а в водосборах Иньвы, Обвы, Тулвы, Шаквы, Барды, Таныпа, Сарса, частично Сылвы она ниже средней. К югу от г. Кунгура расположена кунгурская лесостепь.

Физико-географические условия (достаточное количество атмосферных осадков, выпадение их в теплый период года, наличие растительного покрова) благоприятны для развития карста.

Геологические условия. Для Пермской области характерно меридиональное зональное строение. С запада на восток восточная часть Восточно-Европейской платформы сменяется Предуральским прогибом и затем геосинклинально-складчатой областью герцинского складчатого Урала. По данным геологов ПермНИПИнефть восточная окраина платформы, где развит карст, осложнена крупными структурами: Тиманским кряжем, Пермским сводом, Бымско-Кунгурской впадиной и северным окончанием Башкирского свода, в пределах которых выявлены мелкие структуры. Тиманский кряж и Пермский свод продолжают в Предуральском прогибе поперечными структурами: Ксенофонтово-Колвинской и Косьвинско-Чусовской седловинами, которые разделяют прогиб на Верхне-Печорскую впадину, Соликамскую и Юрюзано Сылвинскую депрессии.

Герцинский складчатый Урал включает Западно-Уральскую внешнюю зону складчатости и Центрально-Уральское поднятие. По сведениям Е. Ф. Пинегина и Л. И. Лядовой, наиболее древние породы кристаллического фундамента вскрыты скважинами на глубине от 1800 до 3600 м. На фундаменте залегают отложения палеозоя и

протерозоя. В верхнем протерозое (рифей, венд) наряду с песчаниками, аргиллитами, конгломератами присутствуют доломиты, известняки, мергели и вулканические породы (рис. 2).

Палеозойская группа начинается верхним терригенным отделом ордовикской системы (песчаники, конгломераты).

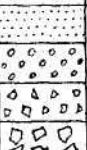

ГРУППА	СИСТЕМА	ОТДЕЛ	ЯРУС ГОРИЗОНТ (ОТЛОЖЕНИЯ)	ИНДЕКС	ТИПИЧНЫЕ ПОРОДЫ
КАИНОЗОЙ - КЗ	ЧЕТВЕР- ТИЧНАЯ	СОВРЕМЕННЫЙ- НИЖНИЙ	(Элювиальные)	eQ	 СУГЛИНОК ПЕСОК ГРАВИЙ ГАЛЬКА ДРЕСВА ЩЕБЕНЬ БРЕКЧИЯ
			(Аллювиальные)	αQ	
			(Флювиогляциальные)	fQ	
			(КАРСТОВАЯ БРЕКЧИЯ)	P <sub>2</sub> -Q	
			НЕОГЕНОВАЯ	N	
ПАЛЕОЗОЙ - РЗ	ПЕРМСКАЯ	ВЕРХНИЙ	ТАТАРСКИЙ	P <sub>2</sub> t	 ПЕСЧАНИК КОНГЛОМЕРАТ АРГИЛЛИТ АЛЕВРОЛИТ МЕРГЕЛЬ
			КАЗАНСКИЙ	P <sub>2</sub> kz	
			УФИМСКИЙ	P <sub>2</sub> u	
			ШЕШМИНСКИЙ	P <sub>2</sub> š	
			СОЛИКАМСКИЙ	P <sub>2</sub> sl	
		НИЖНИЙ	КУНГУРСКИЙ	P <sub>1</sub> k	 ГИПС АНГИДРИТ СОЛЬ ИЗВЕСТНЯК ДОЛОМИТ
			ИРЕНСКИЙ	P <sub>1</sub> i	
			ФИЛИППОВСКИЙ	P <sub>1</sub> f	
			АРТИНСКИЙ	P <sub>1</sub> ar	
			САКМАРСКИЙ	P <sub>1</sub> s	
			АССЕЛЬСКИЙ	P <sub>1</sub> a	
	КАМЕННО- УГОЛЬНАЯ	ВЕРХНИЙ		C <sub>3</sub>	
		СРЕДНИЙ		C <sub>2</sub>	
		НИЖНИЙ	СЕРПУХОВСКИЙ	C <sub>1</sub> s	
			ВИЗЕЙСКИЙ	C <sub>1</sub> v	
			ТУРНЕЙСКИЙ	C <sub>1</sub> t	
	ДЕВОН- СКАЯ	ВЕРХНИЙ		D <sub>3</sub>	 НЕСОГЛАСИЕ
		СРЕДНИЙ		D <sub>2</sub>	
	СИЛУРИЙ- СКАЯ	ВЕРХНИЙ		S <sub>2</sub>	
		НИЖНИЙ		S <sub>1</sub>	
	ОРДОВИКСКАЯ	ВЕРХНИЙ		O <sub>2</sub>	
ПРОТЕРОЗОЙ - РР			ВЕНД	V	
			РИФЕЙ	R	

Рис. 2. Положение карстующихся и контактирующих с ними пород в стратиграфическом разрезе



Силурийская система (нижний отдел, колчимская свита) распространена в западных складках Урала. Она сложена доломитами, доломитизированными известняками, в ее основании залегает пачка терригенных пород. Верхний отдел силура (язвинская свита) развит в крайних западных складках Урала. Он представлен известняками, мергелями, аргиллитами, алевролитами и песчаниками.

Девонская система включает средний и верхний отделы. В составе эйфельского и живетского ярусов среднего девона обнаружены как терригенные, так и карбонатные породы. Франский и фаменский ярусы верхнего девона, за исключением нижнефранского подъяруса, сложены преимущественно карбонатными породами.

Каменноугольная система выходит на поверхность в Ксенофонтово-Колвинской седловине у с. Ксенофонтова и складчатой зоне. В основном она состоит из карбонатных пород мощностью от 250 до 1200 м, причем подчиненную роль играют терригенные.

Пермская система распространена преимущественно в платформенной части и прогибе. В составе ассельского, сакмарского и артинского ярусов нижней перми преобладают известняки и доломиты. На границе с прогибом развиты артинские рифовые массивы. В артинском ярусе присутствуют ангидриты. В прогибе верхняя часть артинского яруса представлена дивьинской свитой глин, алевролитов, мергелей, глинистых известняков, которая восточнее сменяется более грубообломочной урминской свитой.

Кунгурский ярус развит в восточной части платформы и прогибе. В нем выделяют филипповский и иренский горизонты. Филипповский горизонт представлен тремя свитами: филипповской (карбонатной), карнауховской (карбонатно-сульфатной) и лекской (сульфатно-обломочной). Иренский горизонт состоит из иренской, поповской, кошелевской и березниковской свит. Наиболее полно изучена иренская свита в нижнем течении рек Сылвы и Чусовой и по р. Каме в районе пос. Полазна. Здесь свита разделена на 7 пачек, из которых четыре нечетных (ледяно-пещерская, шалашнинская, демидковская, лунежская) состоят из ангидритов и гипсов с прослоями доломитов и глин, а четные (неволинская, елкинская и туйская) — из доломитов и доломитизированных известняков (рис. 3). В местах выхода на поверхность иренской свиты развита ольховская карстовая брекчия. Мощность иренской свиты изменяется от 120 до 180 м, к северо-востоку



Рис. 3. Разделение иренского горизонта кунгурского яруса на пачки

увеличиваясь до 370 м, а к западу уменьшаясь до 30—40 м. На западном борту прогиба иренская свита фациально замещается поповской свитой доломитов, глинистых известняков, мергелей, алевролитов, глин, ангидритов и гипсов с линзами каменной соли, прослоями песчаников мощностью до 500 м. В осевой части прогиба и на его восточном борту развита кошелевская свита песчаников, алевролитов, аргиллитов, ангидритов с линзами каменной соли, с пропластками известняков и мергелей общей мощностью до 600 м. Березниковская свита представлена в Соликамской и Верхне-Печорской впадинах. Для нее характерно значительное содержание каменной соли, наличие пачек и пластов сильвинита и карналлита, кроме того, в свите присутствуют прослои ангидрита, глин и доломита мощность свиты 400—725 м.

Верхний отдел перми включает уфимский, казанский и татарский ярусы, причем в районах развития карста представлен только уфимский. Нижний Соликамский горизонт уфимского яруса сложен известняками, мергелями, доломитами с прослоями ангидрита, гипса, каменной соли. В верхней части содержатся песчаники, алевролиты и глины. Выше залегает шешминский горизонт (песчаники, аргиллиты, алевролиты с прожилками гипса, прослоями известняка и мергелей).

Четвертичная система состоит из элювиальных, делювиальных, аллювиальных, озерных, болотных, флювиогляциальных и гляциальных глин, суглинков, песков, галечников, торфяных отложений. Ледник днепровского оледенения покрывал только северную часть области.

Таким образом, карбонатные породы появляются в разрезах верхнего протерозоя. Наибольшего развития они достигают в

каменноугольной системе. Сульфатопроявления отмечены в артинском ярусе, но преобладают в кунгурском. Соли типичны также для кунгурского яруса.

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

### Карст и условия его проявления

Термин «карст» происходит от названия плато Карст или Крас в Словении. Плато сложено мезозойскими известняками, в результате выщелачивания которых на поверхности образовались карры, поноры, воронки и другие замкнутые формы рельефа, а в толще пород — пещеры. Эти явления давно изучались европейскими географами и геологами и были названы по наименованию плато карстовыми.

Под карстовыми большинство исследователей понимают явления в относительно хорошо растворимых природными водами горных породах. Одно из определений карста принадлежит Г. А. Максимовичу: «Карст — это процесс химического и отчасти механического воздействия подземных и поверхностных внеусловых вод на растворимые проницаемые горные породы (карбонаты, гипс и ангидрит, соли, соду и др.). В результате возникают поверхностные и подземные скульптурные, а при выпадении из раствора, обрушении — и аккумулятивные формы» [110].

Под карстом понимается геохимический процесс взаимодействия относительно хорошо растворимых пород с природными водами, проявляющийся, как и другие экзогенные процессы, в разрушении горных пород, главным образом растворении (в меньшей степени — эрозии, выветривании), миграции продуктов разрушения, т. е. переносе их преимущественно в растворенном состоянии, а также механическим путем, и отложении осадков как хемогенных (типичны), так и обломочных. Этот процесс характерен для зоны выветривания, где порода одновременно с выщелачиванием (коррозией) подвергается химическому и биохимическому выветриванию, эрозии, в некоторых случаях — дефляции, экзарации и другим процессам, соотношение которых изменяется во времени. Интенсивность карста и других экзогенных процессов, их геоморфологическая выраженность зависят от климата.

Карст оказывает влияние на все элементы ландшафта. мы можем рассматривать его как а) геохимический и биогеохимический процессы миграции химических элементов в системе порода—вода, часто при участии организмов; б) геологический процесс выщелачивания породы, изменения ее состава, структуры, текстуры и образования новых минералов, осадков, осадочных пород и полезных ископаемых; в) гидрогеологический процесс формирования коллекторов и химического состава подземных вод; г) геоморфологический процесс образования поверхностных и подземных форм рельефа; д) физико-географический процесс формирования особого типа ландшафта; е) инженерно-геологический процесс, приводящий к изменению прочностных свойств пород и устойчивости территорий, возрастанию степени агрессивности подземных вод по отношению к основаниям сооружений [62].

Под термином «карст» понимают сам процесс преобразования породы и возникающие при этом формы рельефа (поверхностные и подземные), а также отложения (сталактиты, сталагмиты и др.). Формы, сходные с карстовыми, образуются также в некоторых рыхлых или сцементированных обломочных осадочных породах, содержащих растворимые минералы или цемент (лёсс, песчаники и конгломераты с растворимым цементом). Л. И. Маруашвили и Г. А. Максимович [110] предложили для обозначения явлений в таких породах термин «кластокарст». Кластокарст относится к группе суффозонных и суффозионно-карстовых процессов. Он проявляется в растворении цемента или воднорастворимых солей в породе, нарушении ее структуры и последующем выносе частиц породы подземными водами.

Карст приурочен к определенным геолого-гидрогеологическим обстановкам. Основными условиями его развития, по Ф. П. Саваренскому, Н. М. Кухареву, Д. С. Соколову и Г. А. Максимовичу, являются наличие карстующихся пород (известняков, доломитов, мела, мрамора, гипса и ангидрита, каменной и других солей), их водопроницаемость, движение воды в карстующемся массиве и ее способность растворять породу.

Водопроницаемость пород обусловлена присутствием в них трещин, крупных разрывных нарушений, мелких пор, более крупных каверн, которые в процессе растворения породы движущейся в них водой преобразуются в каналы и пещеры.

В каждом массиве, сложенном целиком или частично карстующейся породой, есть области питания, движения и разгрузки подземных вод. В области питания атмосферные осадки, воды поверхностного стока поглощаются трещинами, по норам и отводятся в глубь массива. В области движения вода движется по вертикальным каналам и трещинам (зона вертикальной циркуляции), заполняя их эпизодически. На менее проницаемой породе образуются

горизонт карстовых вод (зона горизонтальной циркуляции). В некоторых случаях вода в этой зоне движется по разобленным каналам. Промежуточное положение занимает зона сезонных колебаний уровня карстовых вод. В нижних частях массивов карстовые воды могут приобретать напор и разгружаться по восходящим каналам в зоне сифонной циркуляции (рис. 4).

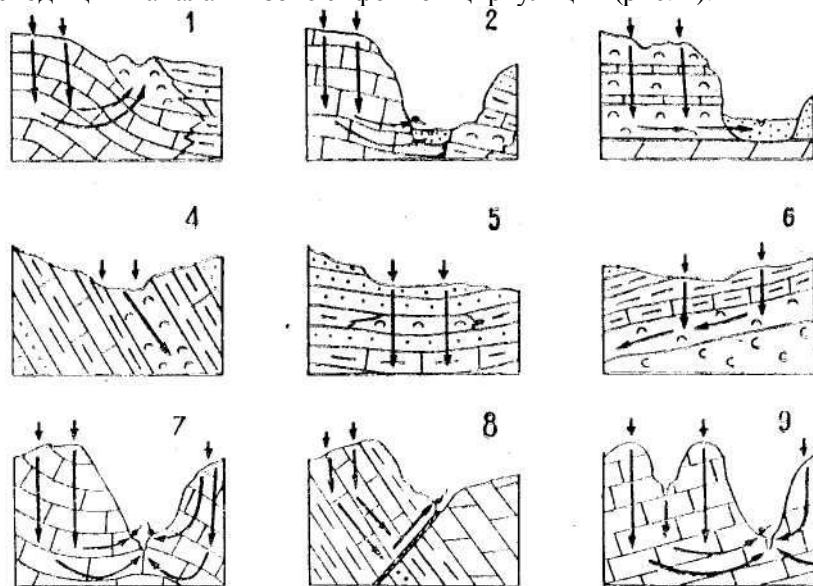


Рис. 4. Схема путей движения и условий разгрузки карстовых вод: 1 — разгрузка карстовых вод из карбонатных и гипсо-ангидритовые отложения; 2 — наземная родниковая и подземная (в аллювий) разгрузка карстовых вод на контакте карбонатных и сульфатных отложений; 3 — разгрузка вод зоны горизонтальной циркуляции в аллювий; 4 — карстовые воды в пласте гипса, моноклинально залегающем в терригенной толще; 5 — положение линзы гипса в зоне вертикальной циркуляции карстовых вод; 6 — карстовые воды на контакте пластов гипса и соли; 7 — разгрузка вод зон горизонтальной и сифонной циркуляции в речной долине; 8 — разгрузка напорных карстовых вод в зоне тектонического нарушения; 9 — поглощение малой реки и разгрузка карстовых вод в магистральной речной долине

Область разгрузки включает участки выхода карстовых вод за пределы карстующейся породы. Разгрузка карстовых вод может быть наземной или родниковой, субаквальной на дне озер, рек, морей и подземной — в виде перетока карстовых вод в некарстующиеся отложения.

Карст классифицируется по различным признакам. По составу карстующихся пород выделяют типы карста: карбонатный (в известняках, доломитизированных известняках, доломитах, меловых породах, мраморах), сульфатный (в гипсах и ангидритах), соляной (в каменной соли, сильвините и других солях). Карст в песчаниках, конгломератах с растворимым цементом относится к кластокарсту.

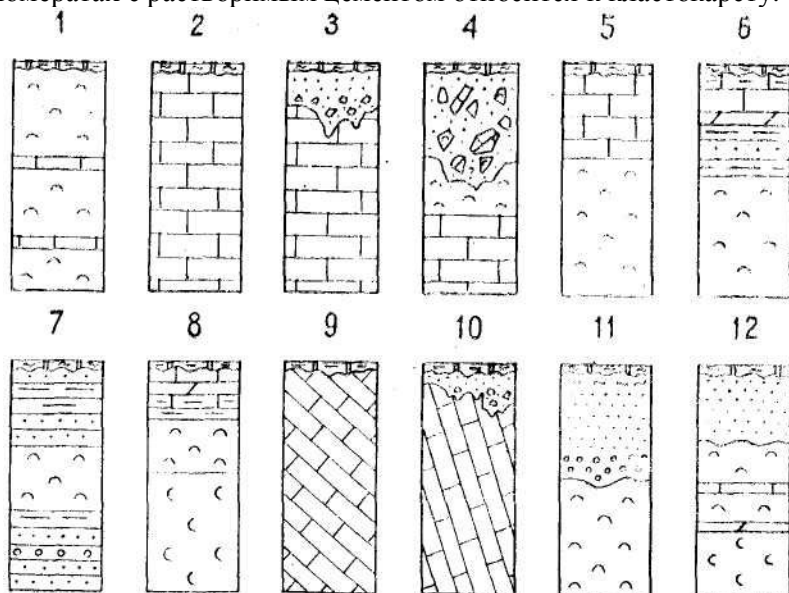


Рис. 5. Условия залегания карстующихся пород и типы карста: 1 — задернованный сульфатный; 2 — задернованный карбонатный; 3 — подэлювиальный карбонатный; 4 — сульфатный карст, проявляющийся под карстовой брекчией; 5 — задернованный карбонатно-сульфатный; 6 — закрытый (под коренными некарстующимися породами) сульфатный; 7 — карст в пластах гипса, залегающих среди терригенных отложений (закрытый); 8 — закрытый сульфатно-соляной; 9 — задернованный карбонатный с моноклинальным залеганием пород; 10 — подэлювиальный карбонатный с крутопадающими пластами; 11 — подэлювиальный (под речными отложениями); 12 — подфлювиогляциальный (под водно-ледниковыми отложениями)

По наличию или отсутствию покровных отложений и их составу

карст подразделяется на типы: голый — карстующиеся породы выходят на поверхность; задернованный — на карстующихся породах сформировался почвенный покров; покрытый — в результате выветривания на поверхности карстующихся пород образовались рыхлые продукты или элювий (подэлювиальный); перекрытый — карстующиеся породы были вскрыты эрозией и перекрыты речными (подаэлювиальный) или водно-ледниковыми отложениями (подфлювиогляциальный); закрытый — на карстующихся породах залегают коренные некарстующиеся породы (песчаники, глины, мергели и др.). В Пермской области распространен карст, проявляющийся под толщей карстовых брекчий (рис. 5). Встречаются и сложные типы карста в случае генетической разнородности (коренные породы, элювий, аллювий и др.) покровных отложений.

### Карстовые формы

Карстовые формы подразделяются на поверхностные, подземные и переходные от первых ко вторым. Поверхностные — это карры (небольшие углубления, разделенные гребешками и выступами высотой от нескольких сантиметров до 1—2 м), воронки, котловины, депрессии, карстовые лога, карстовые долины. Переходные формы представлены понорами (вертикальными каналами с отверстием на поверхности диаметром до 0,5, реже—1 м), карстовыми колодцами (вертикальными каналами с поперечником в верхней части от 1—3 до 5 м и глубиной до 20 м). К подземным формам относят каверны, закарстованные трещины, небольшие полости, каналы, горизонтальные и вертикальные пещеры. Разновидность вертикальных пещер составляют шахты [63].

Наиболее распространенными карстовыми формами в Пермской области являются карстовые воронки — блюдцеобразные, чашеобразные, конусообразные, цилиндрические понижения диаметром до 100 м и глубиной до 25 м. На основе исследования 2800 воронок предложена следующая морфометрическая классификация их. 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). В отдельных карстовых районах учтены, описаны и измерены тысячи воронок.

Отношение величины диаметра к глубине характеризует тип

воронок: у конусообразных оно менее 5, чашеобразных — 5—10, блюдцеобразных — более 10. В плане различают округлые, овальные, двоянные, хвостатые с ложбинами, сложные воронки.

Участки площадью обычно не более 2 км<sup>2</sup>, покрытые воронками, называются карстовыми полями. Границы их определяют произвольно или путем нахождения минимальных обобщающих радиусов. Поля в плане могут быть линейными — вдоль трещин, литологических контактов, на дне логов: лентовидными — на склонах террас и долин; дуговидными и кольцевыми — вокруг останцов, рифов, локальных поднятий; ортогональными — по двум системам пересекающихся под прямым углом трещин.

Карстовые поля характеризуются следующими показателями. Плотность — это количество воронок, приходящееся на 1 км<sup>2</sup>. Коэффициент площадной закарстованности — отношение суммы площадей воронок к площади поля (в %). Коэффициент карстовой денудации (объемный коэффициент поверхностной закарстованности) или показатель условного среднего снижения поверхности за счет возникновения воронок — это отношение суммарного объема воронок к площади поля, выраженное в мм или см. При оценке устойчивости закарстованных территорий используют показатель, обозначающий количество провалов, образующихся на 1 км<sup>2</sup> в год.

Одна из наиболее полных классификаций воронок в зависимости от их происхождения была предложена Г. А. Максимовичем [110]. Н. А. Гвоздецкий, а также ряд зарубежных исследователей все разнообразие воронок сводят к трем генетическим типам: 1) поверхностного выщелачивания или коррозионные; 2) провальные или гравитационные (образуются путем обрушения свода подземной полости); 3) просасывания или коррозионно-суффозионные (возникают посредством вымывания или проседания отложений в колодцы и полости карстующегося цоколя).

В основу классификации воронок необходимо положить два признака: характер деформации земной поверхности и время формирования воронки, которые свидетельствуют о процессах, происходящих в карстующемся массиве.

Коррозионные воронки, или воронки инфильтрационного и инфлюационного растворения карстующихся пород в поверхностной части массива (рис. 6), развиваются медленно, обычно от блюдцеобразных до конусообразных форм с поглощающим понором на дне. В случае закупорки понора



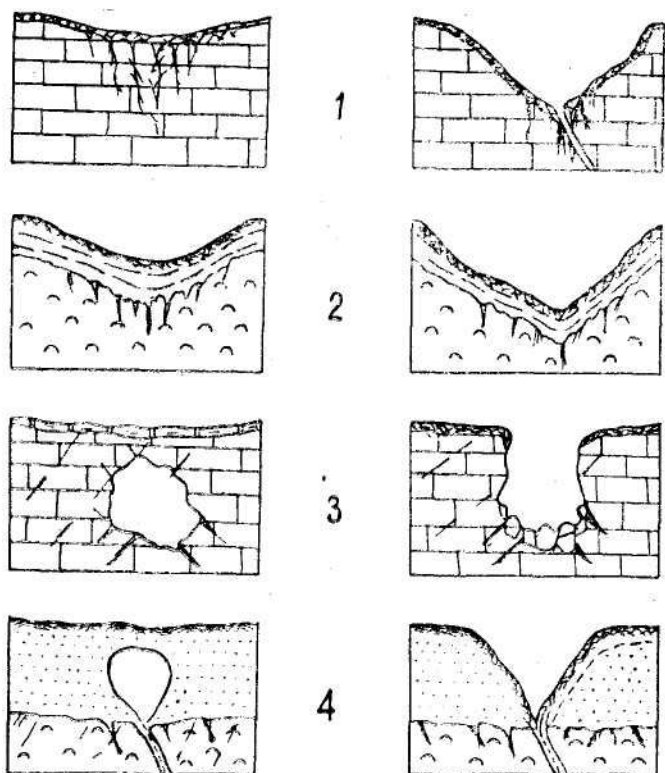


Рис. 6. Основные генетические типы воронок: 1 — коррозионная, 2 — коррозионно-просадочная, 3 — провальная в коренной породе, 4 — суффозионно-провальная при наличии в кровле карстующейся породы рыхлых отложений

начинается регрессивное развитие воронки — превращение ее в озеро, заболачивание, заполнение делювием.

Коррозионно-эрозионные воронки образуются в результате как коррозии, так и эрозии исчезающих в них водотоков. В периоды высоких половодий обычно заполняются водой.

Коррозионно-эрозионные воронки, на дне которых вытекают напорные воды в виде восходящих родников, возникают медленно, в течение десятков лет. Так, воронка в окрестностях с. Усть-Кишерть формируется более 10 лет. Из нее вытекает родник, называемый Зуевским, с расходом воды около 12 л/с и минерализацией 2,6 г/л. В июле 1978 г. размеры воронки составляли 21х17,8х3,6 м. Она

расширяется в результате отседания стенок по трещинам, оползания покровных отложений и последующего выноса материала родником за ее пределы. 30 октября 1983 г. на правом склоне долинки родника наблюдалась неглубокая просадка округлой формы.

Коррозионно-просадочные воронки возникают в результате медленного проседания (прогибания) покровных некарстующихся отложений в полости, приуроченные к кровле карстующихся пород.

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

Провальные воронки различных типов образуются путем обрушения сводов полостей, возникающих в карстующихся породах или перекрывающих их рыхлых отложениях. При наличии в кровле полости скальных пород (песчаников, мергелей, аргиллитов) провал длительное время сохраняет крутые отвесные стенки. Примером является провал в окрестностях пос. Кордон. Если покровные отложения представлены рыхлыми грунтами, провал быстро эволюционирует от колодцеобразной формы к чашеобразной воронке. Примером является Бреховский провал, который возник в 1953 г. как шахта глубиной 46 м (поперечник 3х5 м), уже в 1958 г. превратившаяся в воронку диаметром 25 м и глубиной 12,5 м.

Провалы, образующиеся при обрушении кровли полости, формирующейся в рыхлых покровных отложениях в результате выноса грунта по трещинам, каналам в карстующиеся породы, встречаются часто на террасах, где покровные отложения представлены суглинками, глинами, песками, галечниками. Вероятно, к этому типу относится Кишертский провал (август 1949 г.) на второй террасе р. Сылвы, где мощность обводненного в нижней части аллювия превышает 20 м. Первичные размеры его составляли 50,5х40,0х9,0 м (до воды). Скважины в районе провала вскрыли только небольшие полости, причем на глубине 90 м содержащие гальку уральских пород.

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, в некоторых из них поглощаются

небольшие реки или временные потоки. В карстовых районах Пермской области нередко встречаются карстовые или эрозионно-карстовые лога, замкнутые, с неровным дном или имеющие висячие устья.

Карстовые депрессии — понижения с поперечником 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. Они характерны для гипсово-ангидритового карста. На дне некоторых из них выходят карстовые родники, располагаются карстовые озера [61].

Особенностью карстовых районов являются исчезающие реки. Ниже мест исчезновения прослеживаются сухие долины, или суходолы. Подземные реки выходят на поверхность в виде мощных родников. Разнообразны карстовые озера с атмосферным, подземным (карстовыми водами) и смешанным, атмосферно-подземным, питанием. Среди них встречаются как постоянные, так и периодически исчезающие.

Многочисленны пещеры. Длиннейшими в области являются Дивья (9750 м), Кизеловская Виашерская (7600 м) и Кунгурская (5600 м). Преобладают горизонтальные и наклонные пещеры, реже встречаются вертикальные.

### К истории изучения и районирования карста Пермской области

История изучения карста Пермской области освещена в ряде работ [46, 47, 95, 113, 131]. 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. Лепехин (вторая половина XVIII в.), м. Киттары, Е. С. Федоров (XIX в.), А. А. Штукенберг, В. А. Варсановьева (начало XX в.). В советский период карст исследовался в связи с геологическими изысканиями (М. В. Круглое, Н. П. Герасимов и Е. И. Тихвинская, м. С. Гуревич, Е. А. Петрова), разработкой Кизеловского угольного бассейна (А. А. Васильев, П. С. Шеин, 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 проходила карстовая конференция, на которой рассматривались вопросы разработки Кизеловского месторождения

каменного угля под закарстованными известняками. Большой вклад в изучение карста внесли ученые Пермского университета. По инициативе университета и его Естественнонаучного института в январе 1947 г. в г. Перми была созвана карстовая конференция, в работе которой приняли участие как пермские ученые (Ю. М. Абрамович, В. Л. Апродов, О. Н. Бадер, П. Н. Чирвинский, Д. И. Харитонов), так и специалисты из других регионов страны (Н. Л. Гвоздецкнн. В. Н. Головцын, Д. И. Дзеис-Литовский, Н. В. Родионов, Д. В. Рыжиков, Д. С. Соколов, Н. И. Толстихин, Л. И. Маруашвили и др.). Во вступительном докладе Г. А. Максимович указал на необходимость развития науки о карсте — карстоведения или карстологии, определил ее содержание и основные пути развития.

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). Достаточно много внимания карсту уделяют авторы отчетов по гидрогеологическим съемкам масштаба 1:200000 восточной части Пермской области (Е. А. Бобров, Е. А. Иконников, А. Г. Мелехов, В. И. Мошковский, А. М. Оскотский, В. А. Поповцев, А. В. Ревин и др.).

В 1964 г. по инициативе Г. А. Максимовича организован Институт карстоведения и спелеологии, основная деятельность которого заключается в координации работ по карсту, организации совещаний, издании сборников (Пещеры. 1961 — 1990 гг. Вып. 1—22; Гидрогеология и карстоведение. 1962— 1987. Вып. 1—10) и книг по карстовой тематике.

Карст Пермской области освещен в многочисленных публикациях. Ему посвящены диссертации К. А. Горбуновой, К. Г. Бутыриной, П. Я. Яковенко, Г. В. Бельтюкова, 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 1990 г. составлена карта карстующихся пород и карста Пермской области (масштаб 1:500000) под руководством К. А. Горбуновой. Основой для нее послужила Геологическая карта Урала масштаба 1:500000, изданная в 1979 г. под редакцией И. Д. Соболева.

Развитие карста предопределяется наличием карстующихся пород,

их составом, степенью проницаемости и условиями залегания в зоне активного водообмена. Предполагая единство геологической структуры и форм рельефа, ряд авторов [109, 110, 113, 116, 120, 121] используют следующие таксоны районирования: карстовая страна, провинция, область, район. При дробном районировании в пределах районов выделяют карстовые участки и поля.

Г. А. Максимович [109] относил территорию Пермской области к двум карстовым странам: Уральской и Восточно-Европейской, соответствующим планетарным геоструктурам. Страны подразделяются на провинции — геоструктуры меньшего масштаба — и области — части этих геоструктур, в строении которых принимают участие карстующиеся породы. Авторы за основную единицу районирования принимают карстовый район. Районы приурочены к крупным или средним структурам (по классификации геологов ПермНИПИнефть), где развиты карстующиеся породы, например, к Соликамской депрессии, Верхнепечорской впадине, Ксенофоновско-Колвинской, Косьвинско-Чусовской седловинам.

В границах карстовых районов выявляются карстовые участки — это геоморфологически обособленные закарстованные части крупных или средних структур и мелкие структуры. Участки включают карстовые поля, т. е. площади, охваченные детальной съемкой, для которых составлены крупномасштабные планы карстовых форм, и закарстованные площадки, зоны, где проводились инженерно-геологические изыскания с целью установления категории их устойчивости и разработки противокарстовых мероприятий для различных видов строительства.

В Пермской области свыше 500 карстовых пещер. Большая заслуга в их открытии и картировании принадлежит спелеологам городов Перми, Екатеринбурга, Березников, Кизела, Александровска, объединенным в 1990 г. в Ассоциацию спелеологов Урала. В 1988 г. С. В. Валунский, С. С. Евдокимов, В. В. Родионов обобщили результаты спелеологических исследований в рукописной работе «Пещеры Пермской области». В 1990 г. издан прекрасно иллюстрированный фотоальбом «Кунгурская Ледяная пещера» (Л. И. Вейсман, Е. П. Дорофеев, В. Н. Андрейчук, А. Б. Бобров).

## КАРСТОВЫЕ РАЙОНЫ ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ЧАСТЕЙ ПРЕДУРАЛЬСКОГО ПРОГИБА

В этой обширной области закарстованы преимущественно гипсы, ангидриты, переслаивающиеся маломощными известняками и доломитами иренского горизонта, в меньшей степени — известняки и доломиты филипповского горизонта кунгурского яруса, а также известняки артинского яруса нижней перми, в Ксенофонтовском карстовом районе — более древние карбонатные породы нижней перми и карбона местами карстуются плитчатые известняки Соликамского горизонта уфимского яруса верхней перми. Характерна приуроченность карста к крупным и средним положительным структурам: Ксенофонтово-Колвинской седловине, осложненной Ксенофонтовским, Вижаихинским и Колвинским валами; Косьвинско-Чусовской седловине с валообразными зонами, Уфимской макробрахиантклинали. Выделенные пять карстовых районов занимают в основном платформенные структуры и частично прилегающие к ним участки Предуральского прогиба, в пределах которых формирование карстовых вод и карстообразование связаны с платформой.

Ксенофонтовский район преимущественно гипсового и карбонатного карста

Район занимает бассейн среднего и верхнего течения р. Пильвы, левого притока р. Камы, междуречье Вижаихи и Бубыла и далее на восток — участок, примыкающий к р. Колве (рис. 7).

**Геологические условия карстообразования.** Район приурочен к Ксенофонтово-Колвинскому валу, который находится в пределах крупной структуры — седловины одноименного названия. Вал осложнен куполовидными поднятиями: Ксенофонтовским, Вижаихинским и Колвинским. Ксенофонтово-Колвинская седловина разделяет Предуральский прогиб на Верхнепечорскую и Соликамскую впадины.

Наиболее древние известняки, мергели, доломиты верхнего протерозоя (верхний рифей) слагают ядро поднятия у д. Ксенофонтова. Палеозойская группа представлена средним и верхним отделами карбона и нижним отделом перми. Для карбона характерен карбонатный тип разреза (известняки, доломитизированные известняки; доломиты, мергели). В нижнем

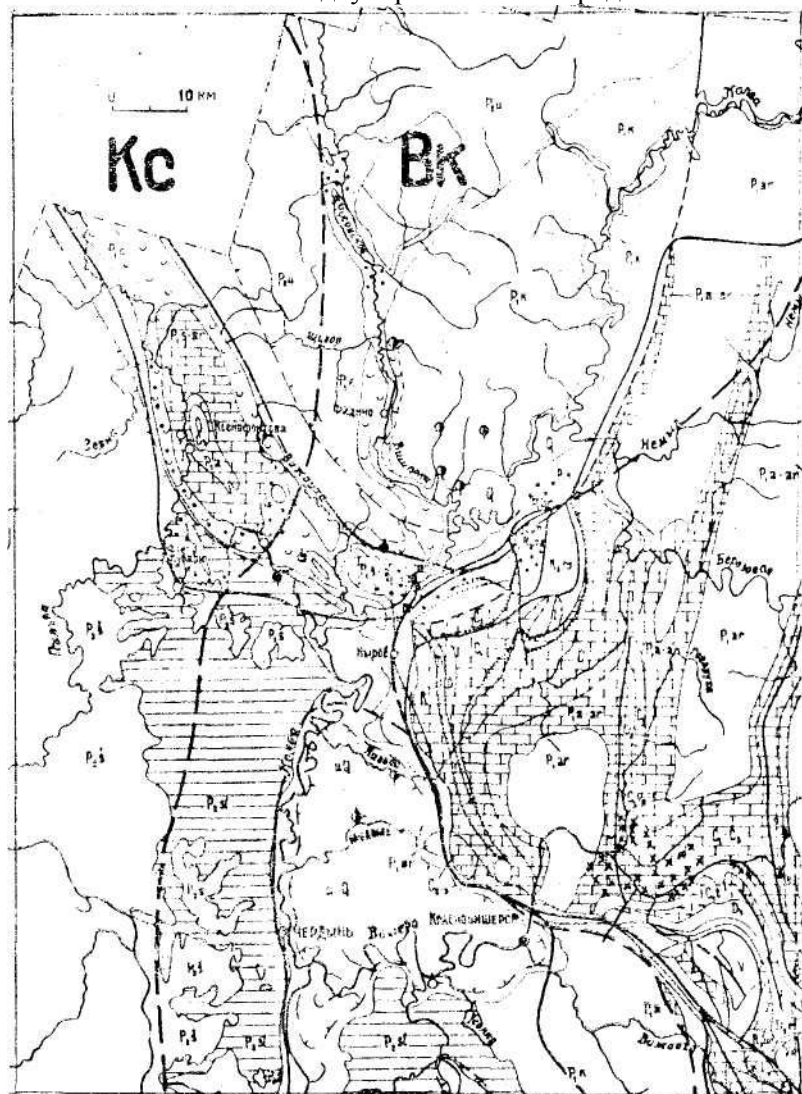
подъярuse московского яруса среднего карбона доломиты, переслаивающиеся с известняками, доломитизированными известняками и мергелями, содержат гипс и ангидрит. Ассельский, сакмарский и артинский ярусы нижнего отдела перми состоят преимущественно из известняков, доломитов, доломитизированных известняков, участками — окремнелых. Кунгурский ярус включает филлипповский горизонт, представляющий собой переслаивание карбонатов и сульфатов, и иренский горизонт, отличающийся преобладанием сульфатов (ангидриты, гипсы с прослоями доломита и глины, доломиты, доломитизированные известняки). Сульфатные отложения выходят на поверхность на крыльях и периклинальных погружениях оси Ксенофонтovo-Колвинского вала.

К северо-востоку и юго-западу нижнепермские отложения погружаются и перекрываются Соликамским горизонтом уфимского яруса верхнего отдела перми, для которого характерны два типа разреза: карбонатный (мергели, известняки, доломиты с прослоями глин и алевролитов) и терригенный (переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов и мергелей). Покровные отложения представлены аллювиально-делювиальными (глины, пески, гравийно-галечниковые отложения), озерно-болотными (глины, пески, заторфованные глины, торф), гляциальными (глины, суглинки с дресвой, щебнем и валунами) и флювиогляциальными (пески с включениями гравия и гальки).

**Гидрогеологические условия.** Территория карстового района относится к Ксенофонтovo-Колвинской гидрогеологической области [155, 169]. К четвертичному комплексу приурочены водоносные горизонты аллювиальных, аллювиально-озерных и флювиогляциальных отложений. Развитие карста связано в основном с кунгурским карбонатно-сульфатным водоносным комплексом иренского горизонта мощность сульфатных пачек составляет от 20 до 180 м, карбонатных — 2—10 м. В составе комплекса преобладают ангидриты и гипсы, подчиненное значение имеют прослои и пачки доломитов и мергелей.

Карбонатно-сульфатные породы водоносны только в верхней части разреза в местах выхода их на поверхность и частично — в условиях залегания под маломощными Соликамскими породами. С глубиной трещиноватость уменьшается либо становится закрытой, и сульфаты приобретают роль надежного регионального водоупора. Трещиноватость и закарстованность верхней части разреза крайне

неоднородна. Наряду с сильно закарстованными обводненными встречаются и монолитные водоупорные блоки пород.





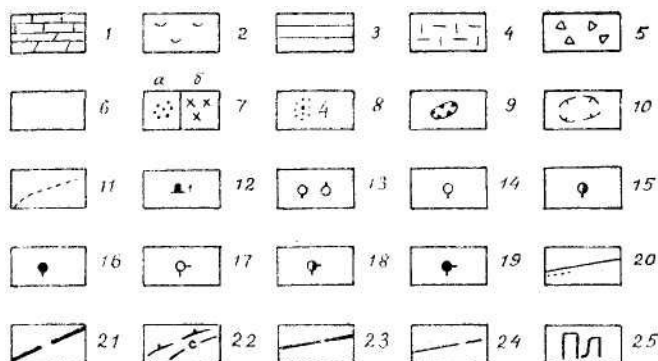


Рис. 7. Ксенофоновский (Кс) и Вишерский (Вк) карстовые районы. Карстующиеся породы: 1 — известняки, доломиты; 2 — гипсы, ангидриты.

Толщи с подчиненной ролью карстующихся пород: 3 — терригенно-карбонатные породы Соликамского горизонта уфимского яруса, 4 — терригенно-карбонатные породы силура; 5 — карстовая брекчия; 6 — некарстующиеся породы.

Карстовые формы: 7 — воронки и котловины на платформе и прогибе (а), в складчатой зоне (б), 8 — номера полей и участков, 9 — карстовые депрессии, 10 — мульды оседания в районах соляного карста, 11 — суходолы, 12 — пещеры.

Карстовые родники: 13 — нисходящие и восходящие; 14 — гидрокарбонатные с минерализацией воды менее 1 г/л, 15 — гидрокарбонатно-сульфатные (менее 1), 16 — сульфатные (1—3), 17 — хлоридные (менее 1), 18 — гидрокарбонатно-хлоридные (менее 1), 19 — хлоридные (1—50).

Границы: 20 — стратиграфические, 21 — прогиба, 22 — крупных тектонических структур, соленосного бассейна, 23 — карстовых рано-нов; 24 — надвигов, 25 — индексы карстовых районов (по К. А. Горбуновой)

На водоразделах рек Пильвы и Вишерки, Пильвы и Вижаихи кунгурские отложения, вскрытые эрозией, в зоне активного водообмена подвержены интенсивному карсту. Подземные воды движутся по сети разобщенных карстовых полостей, каналов и трещин. Уровень карстовых вод снижается в направлении дренирующих их рек (Вишерка, Бубыл, Вижаиха и др.). На водоразделах его превышение над основными дренами достигает 90 м. Воды здесь безнапорные.

Ниже основных дрен и в условиях залегания кунгурского карбонатно-сульфатного комплекса под более молодыми

отложениями интенсивность карста снижается, что связано с уменьшением скорости движения подземных вод и насыщением их сульфатами. Трещиноватость и слабая кавернозность пород распространены ниже кровли комплекса на глубину от 20 до 200 м.

Карстовые и трещинно-карстовые воды имеют сульфатный состав и повышенную минерализацию. В зоне активного водообмена это гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатные воды с минерализацией 1,0—2,0 г/л, в зоне затрудненного водообмена минерализация возрастает до 3,0 г/л.

Кунгурский карбонатно-сульфатный комплекс питается атмосферными осадками, которые инфильтруются на площади его распространения или через толщу покровных четвертичных и Соликамских отложений. Подвешенные поверхностные водотоки, расположенные выше трещинно-карстовых вод, также могут быть одним из источников питания.

Водоносная зона трещиноватости карбонатных отложений среднего карбона — артинского яруса характеризуется слабоминерализованными водами. Разгрузка вод осуществляется родником на правом берегу р. Колвы, на 1,5 км северо-западнее д. Бобыка, у подошвы склона. Дебит его около 120 л/с, минерализация воды 0,3 г/л.

**Карстовые явления.** Карст относится к сульфатному в гипсах и ангидритах преимущественно иренского горизонта кунгурского яруса и карбонатному в известняках и доломитах среднего карбона — нижней перми. По наличию или отсутствию покровных отложений он принадлежит к различным типам: участками — к голому, подэлювиальному, подаллювиальному и подфлювиогляциальному, местами — к закрытому (под коренными некарстующимися или слабокарстующимися породами).

Первые данные о карсте Ксенофонтовского карстового района приведены в геологических отчетах Н. Г. Чочиа и Н. В. Владимирской (1951 г.). Они отмечают, что местность в районе д. Ксенофонтова представляет собой невысокую гряду («парму»), вытянутую с северо-запада на юго-восток к д. Бобыка на р. Колве (рис. 7, 8). Вдоль юго-западного края гряды протягивается заболоченная полоса шириной 1,5—2 км с многочисленными карстовыми воронками и котловинами, которая соответствует выходу на поверхность сульфатных пород. Котловины, достигающие почти 1 км в поперечнике, имеют овальную, реже — неправильную форму. Крупный провал,

заполненный водой,

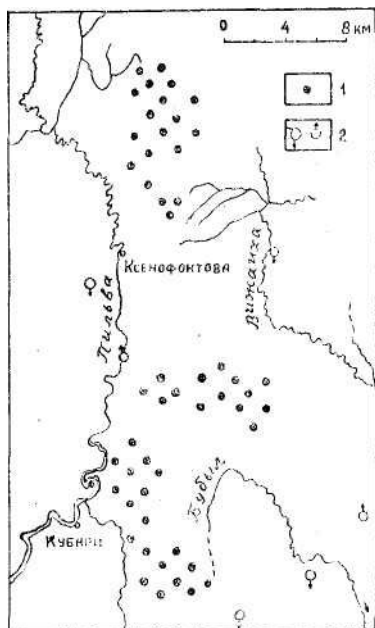


Рис. 8. Карст левобережья р. Пильвы: 1 — воронки и котловины, 2 — нисходящие и восходящие родники (по данным Пермской геологоразведочной экспедиции)

В. Н. Мамонтовым, П. Каптеревым, И. Я. Кривошековым, в более позднее время — А. П. Нечаевым, Г. А. Максимовичем, Р. Б. Рубель, Ю. Е. Лобановым и др. [3, 64, 108, 131, 158, 173, 176]. План пещеры был составлен в 1949 г. В. С. Лукиным, в дальнейшем картирование пещеры осуществляли Е. В. Ястребов [176], В. Д. Щеглов и Ю. А. Колясников [173], Е. В. Алексеева и В. Я. Алексинский [3], А. Г. Чикишев [158].

В 1976—1983 гг. пещеру исследовали спелеологи Березниковской городской спелеосекции. В 1979 г. ими была обнаружена новая часть пещеры протяженностью 6570 м. На составленном плане протяженность пещеры достигла 9720 м [146].

Пещера расположена на правом берегу р. Колвы на 10 км севернее г. Нырба. Входное отверстие трапециевидной формы (высота 0,5,

расположен на 6 км северо-восточнее д. Кубари, на левобережье р. Пильвы. В сплошной полосе карстовых воронок содержатся как образовавшиеся недавно, обладающие крутыми склонами, так и древние, округлые в плане моховые болота до 100 м в поперечнике (рис. 8). Часто встречаются сложные (сдвоенные, строенные и т. д.) воронки. В северо-западной части полоса воронок переходит в сплошное болото, по которому течет р. Зерна мощность четвертичных отложений на данном участке превышает 40 м. К югу и юго-западу в Соликамских карбонатных отложениях отмечены небольшие воронки.

**Пещеры.** В районе известны 4 пещеры в известняках, среди них — одна из длиннейших на Урале — Дивья. Впервые пещера была описана Н. П. Рыжковым, посетившим ее в 1770 г. В XIX в. сведения о ней содержатся в работах Н. С. Попова, В. М. Севергина, В. Верха, Х. Мозеля, Н. К. Чупина, П. И. Кротова, Ф. М. Истомина. В начале XX в. она описывается

ширина 1,5 м) находится в склоне, на высоте 90 м над уровнем реки.

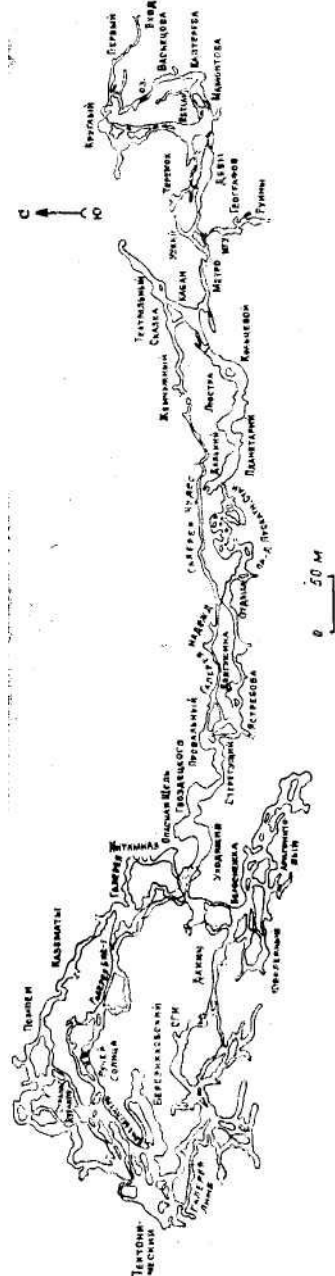


Рис. 9. План пещеры Дивья (съемка спелеологов г. Березники, 1979—1983 гг.);

Пещера представляет собой серию галерей, вытянутых с запада на восток на 1,3 км, с интенсивным меандрированием в дальней, западной, части (рис. 9). Они выработаны потоками, поглощавшимися в понорах логов, окружающих карбонатный массив с юго-запада, севера и запада. В настоящее время активных водотоков в пещере нет. Подземные озера связаны, по-видимому, с инфильтрацией и конденсацией воды. Самое большое озеро находится в гроте Солнца. Оно имеет длину 96 м, среднюю глубину 1,5 м, площадь зеркала 180 м<sup>2</sup>. Наряду с крупными гrotами — Ветлан. (50X9X8), Девы (50X14X15), Гвоздецкого (50x20x15м), Тектонический, Березниковский и др. — многочисленны узкие и низкие проходы, лазы [146].

Пещера отличается разнообразием натечных форм — сталактитов, сталагмитов, колонн, настенных наплывов, гуров (рис. 10). К сожалению, многие натечные образования разрушены туристами. В больших гротах много обвальных отложений. По данным микроклиматических наблюдений, в зимнее и летнее время температура воздуха в разных частях пещеры составляет 3,8—6,2 °C [146, 158]. Зона устойчивых

температур начинается в 90 м от входа. Пещера населена летучими мышами нескольких видов. Пещера, имеющая природоохранный статус «памятник природы», нуждается в более эффективной охране.



Рис. 10. Сталагмиты пещеры Дивья (фото Л. Суптеля, А. Ширинкина)

#### Полазнийский район преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста

Район занимает центральную часть Пермской области. С запада он ограничен Камским водохранилищем, с юга — Чусовским заливом, с севера и востока — бассейнами Добрянки, Вильвы и Усолки. Северо-западная граница проходит по контакту закарстованных Соликамских пород с шешминскими, северная и восточная имеют сложные очертания и определяются литологией пород. Севернее р. Косьвы распространен карст соли (Соликамский карстовый район). На востоке, в долинах правых притоков Вильвы и Усолки, сульфатные и карбонатные породы замещаются терригенными, на площади

распространения которых карст не проявляется (рис. 11).

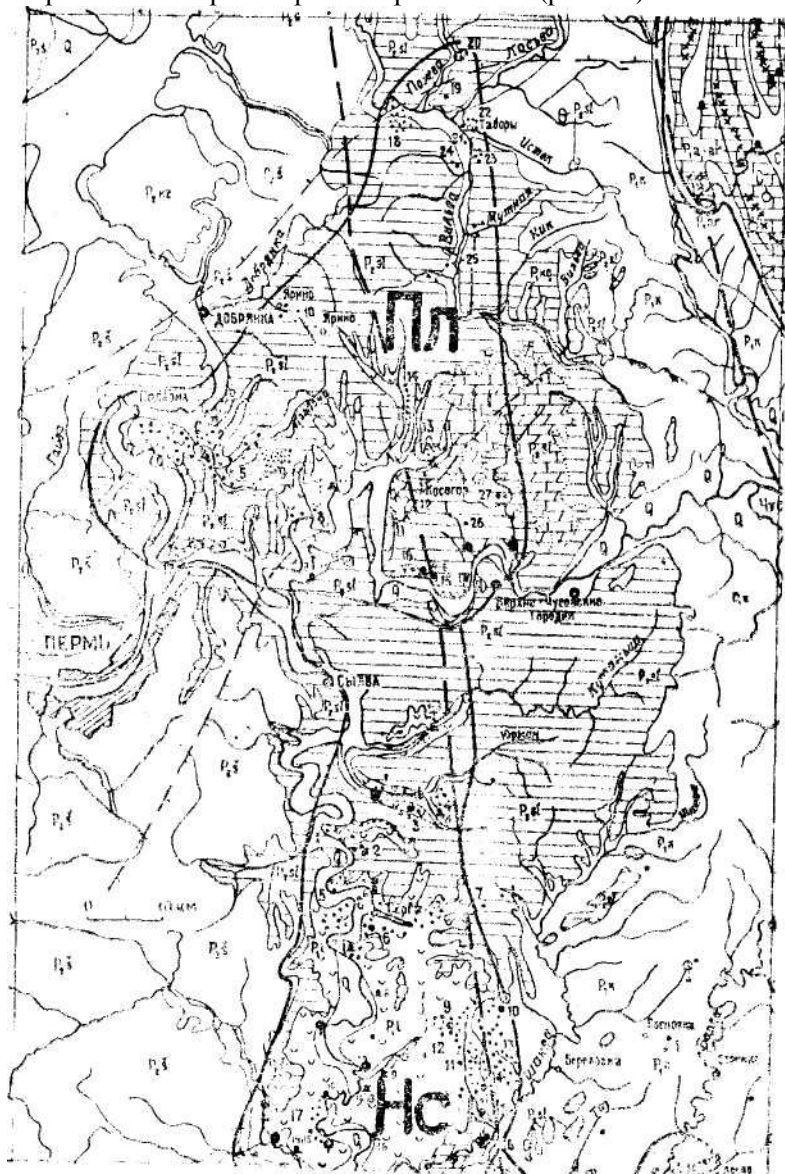


Рис. 11. Полазнинский (Пл) и Нижнесылвинский (Нс) карстовые районы (по К. А. Горбуновой)

Наиболее крупным обобщением исследований по карсту данной территории является кандидатская диссертация К. Г. Бутыриной «Гипсовый карст центральной части Пермской области» (1968). На отдельных участках производились детальные съемки [40, 58, 137], многочисленные работы посвящены карсту района пос. Полазна [18, 19, 105], побережий Камского водохранилища [104, 135], бассейну нижней Косьвы [21, 22], гидрохимии [24, 25, 138], подземному карсту [54, 136].

Геологические условия карстообразования. Район приурочен к Косьви́пско-Чусовской седловине, занимающей часть платформы, и прослеживается на восток в направлении Предуралья́ского прогиба. Седловина осложнена на западе межевской, а восточнее — Каменноложской валлообразными зонами, на фоне которых выделяются небольшие локальные поднятия. Зона активного водообмена и карстообразования складывается породами пермской системы, преимущественно кунгурского и уфимского ярусов.

Кунгурский ярус расчленяется на два горизонта: филипповский и иренский. Филипповский горизонт в нижней части состоит из известняка с включением гипса, в верхней части преобладают доломиты, местами загипсованные и кавернозные.

В иренском горизонте выделяют 7 пачек (рис. 3). Самая верхняя — лунежская — пачка сложена гипсом тонкозернистым, местами глинистым с включениями крупных кристаллов прозрачного гипса. В нижней части ее залегают ангидриты мощность пачки увеличивается с 40 м на р. Сы́лве до 65 м в районе пос. Полазна. Нижележащая тую́йская пачка белого известняка имеет мощность 1—6 м. Следующая — демидковская — пачка ангидритов с прослоями глинистого доломита и гипса имеет мощность от 17 м (пос. Полазна) до 47 м (с. Голубята). Она подстилается елкинской пачкой глинистых, оолитовых доломитов, местами переходящих в Доломитизированные известняки с прослоями глин мощностью до 15 м. Шалашнинская пачка представлена гипсами и ангидритами с прожилками глин и доломитов мощностью 15—33 м. Неволинская пачка состоит из доломитов, частично загипсованных, мощность которых увеличивается с запада на восток от 2 до 30 м. В основании разреза выделяется ледяно-пещерская пачка гипсов и массивных ангидритов с прослоями доломита мощностью до 66 м.

Уфимский ярус представлен Соликамским и шешминским горизонтами. В западной части района Соликамский горизонт складывается плитчатыми известняками, мергелями, доломитами, песчаниками, а в восточной, в бассейне р. Вильвы — известняками, песчаниками, конгломератами, аргиллитами, доломитами. Шешминский горизонт (аргиллиты, алевролиты с прослоями и линзами песчаника и известняка) обнаруживается в виде небольших участков.

В местах интенсивного современного и древнего карста распространены карстовые брекчии мощностью до 100 м и даже более. В основном известняковые и доломитовые брекчии образовались в результате выщелачивания гипсов и ангидритов и последующего обрушения карбонатных пород в карстовые полости.

Четвертичные отложения разнообразны по составу и генезису. Это аллювиальные суглинки, супеси, песчано-гравийный материал, элювиальные и делювиальные суглинки и глины с обломками коренных пород, пески с гравием и галькой; болотные торф, гумусированные глины с гнездами песка.

Гидрогеологические условия. К зоне активного водообмена, в пределах которой проявляется карст, приурочены четвертичный, шешминский, Соликамский и иренский водоносные горизонты и комплексы. Четвертичный и шешминский водоносные горизонты развиты локально. Более широко распространен Соликамский комплекс. Водоносными являются трещиноватые известняки, песчаники, мергели, залегающие на незакарстованных гипсах и ангидритах иренского горизонта. Там, где Соликамские отложения залегают выше эрозионных врезов, а нижележащие гипсы и ангидриты сильно закарстованы, отмечаются безводные участки.

Иренский водоносный комплекс развит в междуречье Камы и Чусовой, в бассейнах рек Полазнинский Вож, Полазна и правобережных притоков р. Чусовой. Узкими полосами горизонт выходит в нижних частях долин рек Хохловки, Пелуча, Кухтыма. Различная глубина залегания относительно базиса эрозии, неоднородная трещиноватость и закарстованность иренских гипсов, известняков и доломитов обусловили их неравномерную обводненность. Сплошная обводненность отмечается в зоне подпора Камского водохранилища и долинах рек. На водоразделах карстовые воды приурочены к ограниченным по площади трещиноватым закарстованным зонам. Останцы гипса и ангидрита как правило безводны. По мере погружения под Соликамские отложения иренский



горизонт приобретает роль регионального водоупора.

Карстовые воды иренских отложений питаются дождевыми и талыми водами, которые поглощаются трещинами пород, воронками и котловинами. На некоторых участках они подпитываются водами вышележащего Соликамского комплекса и речными водами, например, в долинах рек Мутной, Ветляны, Осиповки. Карстовые воды в гипсах и ангидритах отличаются минерализацией до 3 г/л, сульфатным составом и высокой жесткостью. В зоне подпора водохранилища минерализация снижается до 1 г/л. В карбонатных пачках на хорошо промытых участках содержатся пресные (до 0,5 г/л) гидрокарбонатные воды.

В районе наблюдаются все виды разгрузки карстовых вод: родниковая, субаквальная на дне озер и рек, подземная — в другие водоносные горизонты, в частности, грунтовые воды аллювиальных отложений в долинах рек. По данным В. И. Мошковского и других, дебит родников изменяется в больших пределах, от 0,01 до 40 л/с при характерных значениях 1—5 л/с. Карстовые воды питают озера Шалашнинское и Большое в Озерной депрессии, Каменку, Черное, Белое и Роголек, озеро у д. Наумята, Мутнинское, Водяной Гурган, Бояновское, Среднеполазнинское, Еремино и другие [20, 21]. Минерализация озерной воды колеблется от 0,5 до 13,5 г/л, состав ее преимущественно сульфатный, в одном случае — хлоридный. Озера, из которых вытекают ручьи с сульфатной жесткой водой, отмечены в долинах рек Полазим, Сивковки, Кухтыма, Заозерной.

Карстовые воды питают реки там, где эрозией вскрыты карбонатные пачки, как, например, в нижнем течении р. Полазны.

Карстовые явления. На территории Полазнинского карстового района К. Г. Бутырина [23, 26] выделяет 11 карстовых участков общей площадью 4 тыс. км<sup>2</sup>, причем участки 1—7 расположены на платформе, 8—11 — в прогибе (рис. 12). Крупномасштабной съемкой охвачена площадь 106 км<sup>2</sup>, где изучено 2674 карстовые формы, 111 карстовых озер, исследован химический состав вод малых рек, озер и источников. Из поверхностных форм наиболее многочисленны воронки, овраги и котловины, реже встречаются карстовые рвы, депрессии и сухие русла рек, а из подземных форм — пещеры.

Карстуются преимущественно гипсово-ангидритовые пачки иренского горизонта, чередующиеся с подчиненными карбонатными (рис. 13). На платформе наиболее закарстованы своды валов. В прогибе в кунгурском ярусе появляются засоленные породы и линзы каменной соли мощностью до 40 м.

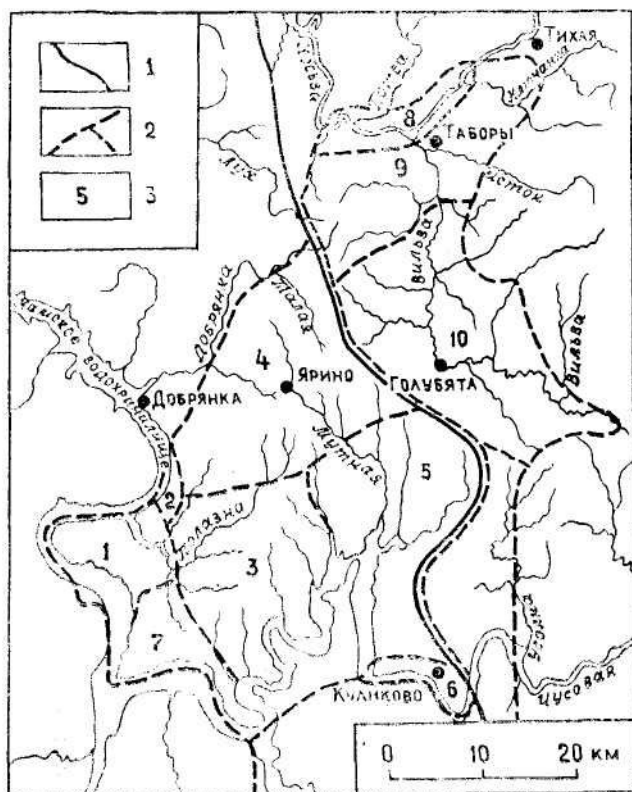


Рис. 12. Карстовые участки Полазнинского карстового района: 1 — граница прогиба, 2 — границы участков, 3 — номера участков: 1 — Полазнинский, 2 — Луневский, 3 — Дивьянско-Каменноложский, 4 — Яринский, 5 — Шалашинский, 6 — Куликовский, 7 — Чусовского мыса, 8 — Нижнекозьвинский, 9 — Таборский, 10 — Голубятский, 11 — Усолкинский (по К. Г. Бутыриной)

На таких участках отмечается соляной карст. Возможно развитие карста в известняках Соликамского горизонта.

Закарстованность зависит от мощности и состава покровных отложений. На большей части территории карстующиеся породы покрыты четвертичными и трещиноватыми Соликамскими породами, мощность которых уменьшается в сводах поднятий до 20 м. На склонах долин и водохранилища они отсутствуют. Карст проявляется обычно при мощности покровных отложений не более 50—75 м.

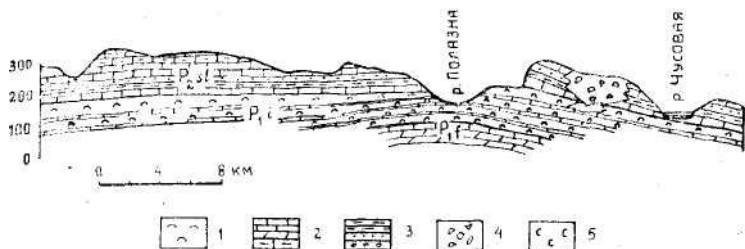


Рис. 13. Геологические условия карстообразования в Полазнинском карстовом районе: 1 — гипс, ангидрит; 2 — известняк, доломит, мергель; 3 — аргиллит, песчаник, конгломерат; 4 — карстовая брекчия, 5 — соль (по данным Сылвинской гидрогеологической партии)

Закарстованные площади бедны поверхностными водотоками. В Камское водохранилище впадает только один приток — р. Полазна. Пра вые притоки Чусовского залива маловодны, а некоторые из них частично или полностью теряют воду в понорах.

Карстовые участки включают карстовые поля [26].

Полазнинский участок занимает левобережье Камского водохранилища в окрестностях пос. Полазна мощность гипсово-ангидритовой толщи достигает 100 м и более, а покровные отложения либо отсутствуют, либо имеют незначительную толщину (от 1 до 20 м). Карст типично сульфатный. Значительная приподнятость территории над местным базисом эрозии (до 125 м) и трещиноватость пород способствуют развитию карста.

Отличительная черта участка — высокая закарстованность (табл. 1). Средняя плотность составляет 60 карстовых форм/км<sup>2</sup>, но на некоторых микроплощадках она достигает 500—1000. На площади 28,1 км<sup>2</sup> закартирована 1691 карстовая форма, причем 97% их приходится на воронки. На участке встречаются карры, карстовые рвы, котловины, овраги, сухие речки и озера. Выявлены карстовые депрессии, заполненные брекчией.

Лунежский участок приурочен к северо-западному погружению Полазнинского вала, где мощность покровных отложений увеличивается, а плотность карстовых форм снижается до 10 на 1 км<sup>2</sup>. К востоку и северу от линии д. Горы — д. Ключи они почти исчезают. Карст преимущественно закрытый, реже подэлювиальный и задернованный. Преобладают простые воронки и эрозионно-карстовые овраги с источниками, вытекающими из Соликамских отложений.

Таблица 1

Карстовые поля Полазнинского карстового участка по  
К. Г. Бутыриной [26]

Поле (№ на рис. 11)	Площадь, км <sup>2</sup>	Кол-во форм*	Средняя плотность, ф/км <sup>2</sup>
Константиновское (1)			
западная часть	3,40	348	102
восточная часть	5,37	61	12
У д. В. и Н. Задолгая(2)	3,32	99	30
Моховское (3)	11,30	877	77
В пос. Полазна (4)	3,96	196	49
У д. В. Полазна (5)	0,50	42	84
Долины р. Полазны и ее притоков (5)	0,21	10	48
Примечание. * — карстовые воронки, котловины, овраги			

Таблица 2

Карстовые участки и поля западной части Полазнинского  
карстового района [26]

Участок	Поле (№ на рис. 11)	Площ адь, км <sup>2</sup>	Кол- во форм	Средняя плотность ф/км <sup>2</sup>
Лунежский	Северное, Южное (6)	15,9	153	9,6
Дивьинско- Каменноложский	Ивановское (7)	1,6	46	28,7
	Кривинское (8)	1,2	49	40,8
	Дивьинское (9)	10,5	116	11,0
Яринский	У д. Ярино (10)	—	—	0,3
	ст. Ярино	—	—	0,5
Шалашинский	Загоскинское (11)	1,33	66	49,6
	Косогорское (12)	7,14	81	11,3
	Шалашинское (13)	2,12	11	5,2
	Мутнинское (14)	3,00	36	12,0
Куликовский	Пеньковское (15) и Куликовское (16)	3,9	48	12,3
Чусовского Мыса	(17)	36	850	23,6

Не редко встречаются озера с атмосферным питанием. Свежих провалов нет. Берег водохранилища высокий, сильно закарстованный. Детальная съемка произведена на площади , 15,9 км<sup>2</sup>, где зарегистрированы 153 карстовые формы (табл. 2).

Дивьяинско-Каменноложский участок приурочен к своду и юго-западному крылу Каменноложского вала, осложненного мелкими структурами. Он занимает бассейн верхнего и среднего течения р. Полазны и бассейны правых притоков р. Чусовой, между реками Талицей на западе и Ветляной на востоке. Участок отличается значительной обнаженностью. Карстовые формы приурочены к останцам сульфатных пород. Разделяющие их депрессии, заполненные брекчией мощностью до 100 м и более, занимают в рельефе возвышенное положение. На площади 13,3 км<sup>2</sup> описаны 211 воронок, около 20 оврагов и котловин, депрессия с подземнопроточным оз. Среднеполазнинским, карстовые долины и лога. На всех элементах рельефа встречаются провалы. На участке изучены три карстовых поля (табл. 2).

Долины небольших рек типично карстовые: сухие русла характерны для верховьев Б. и м. Кривой, Б. и м. Дивьей, притоков Полазны и Ветляны.

Яринский участок соответствует северному погружению Каменноложского вала, осложненного рядом локальных структур. Он занимает междуречье притоков Камы, Косьвы и Чусовой. На западе участок ограничен меридиональным отрезком р. Добрянки, на востоке граница условно проводится по водоразделу рек Вильвы и Добрянки. Территория значительно приподнята и сильно расчленена эрозионной сетью. Большая мощность (до 50 м и более) глинистых и суглинистых покровных отложений неблагоприятна для развития карста. Карстовые формы приурочены к сводам небольших поднятий и некоторым долинам рек (Ярина, Талая). Преобладают воронки, встречаются эрозионно-карстовые овраги и небольшие озера с атмосферным питанием. Их средняя плотность у деревни и станции Ярино не превышает 0,5 на 1 км<sup>2</sup>. Наличие обвального-карстовых пород мощностью до 50 м свидетельствует о древности карста. Новых провалов на участке не обнаружено. Карстовые формы исчезают в направлении на северо-запад соответственно увеличению мощности глинистых четвертичных и терригенных Соликамских отложений до 70 м.

Шалашнинский участок занимает правобережную часть Чусовского залива Камского водохранилища. Здесь в Чусовую впадают реки Ветляна, Мутная, Талая, Шалашная и Беловская. Участку соответствует свод и юго-восточное крыло Каменноложского вала, осложненные Шалашнинской брахиантиклиналью. Карст преимущественно сульфатный, по мере удаления от водохранилища переходящий в карбонатно сульфатный. В своде Каменноложского вала, судя по скважинам у р. Чусовой и в низовьях ее притока Ветляны, иренский горизонт замещен карстовой брекчией, мощность которой достигает 45—60 м.

Сульфатные пачки иренского горизонта обнажены в береговых обрывах водохранилища. Породы сильно трещиноваты, что способствует отседанию склонов. Высокая карстово-эрозионная равнина прорезана узкими речными долинами малых рек, нередко вскрывающих карстовые воды. На дне долин рек Мутной, Озерной и Талой образовались карстовые депрессии с озерами. В долинах Ветляны и низовьях мутной сульфатные пачки выщелочены, карстовые формы отсутствуют. междуречные пространства узкие, сравнительно ровные и приподнятые на значительную высоту.

Карст активно проявляется на сохранившихся целиках сульфатных пачек. В пределах четырех карстовых полей на площади 13,5 км<sup>2</sup> (рис. 14) описаны 175 воронок, 10 оврагов, 3 карстовые депрессии, 12 озер, локально исчезающие ручьи и речки, восходящие источники сульфатного состава, много свежих провалов.

Куликовский участок занимает узкую правобережную полосу Чусовского залива между деревнями Конец Гор и Нижние Пеньки. Берег водохранилища на значительном протяжении представляет собой отвесные гипсовые скалы с нишами, блоками отседания, карровыми бороздами. У д. Куликово карстовые формы распространены в глубь междуречья на 700—800 м. В этом же направлении и на восток увеличивается мощность покровных отложений, которые бронируют карстующиеся породы. Гнезда воронок встречаются к северо-западу от д. Куликово. Они заняты озерами, имеющими атмосферное питание (Долгое). На Куликовской горе встречаются воронки.

Карстовый участок Чусовского мыса расположен между Камским водохранилищем и Чусовским заливом на западном крыле межевской валообразной зоны. Здесь сульфатные отложения перекрыты плитчатыми известняками, мергелями и доломитами соликамского горизонта мощностью до 50 м



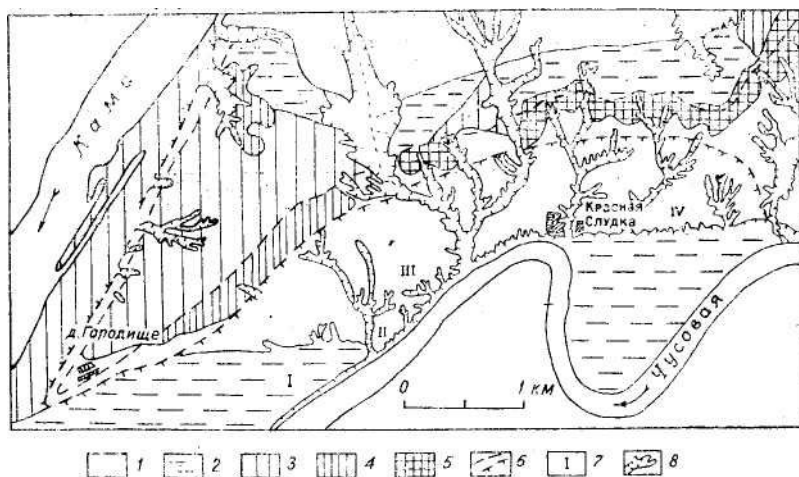


Рис. 15. Карстовый участок Чусовского мыса (до создания Камского водохранилища): плотность карстовых форм на 1 км<sup>2</sup>: 1 — менее 5, 2 — 5—15, 3 — 16—45, 4 — 46—100, 5 — более 100 (до 170), 6 — бровка и подошва склона, 7 — номер террасы, 8 — контур оврага [40]

В 1949 г. под руслом р. Чусовой скважинами были вскрыты полости с вертикальным поперечником до 8 м [54].

Нижнекосьвинский участок занимает часть бассейна нижнего течения р. Косьвы и соответствует северному борту Косьвинско-Чусовского свода. В соликамском горизонте, имеющем в основном карбонатный состав, обнаружены прослои гипса мощностью 2—6 м, в результате выщелачивания которых на поверхности образуются воронки. Карстовые формы встречаются гнездами и небольшими полями среди незакарстованных территорий. На двух полях установлено более 30 воронок, 6 оврагов, 1 депрессия, 15 озер и около 10 источников (табл. 3). Конусообразные воронки имеют поперечник до 75 м и глубину до 20 м. Террасы р. Косьвы прорезаны эрозионными и эрозионно-карстовыми оврагами местами карст проявляется активно, например, старожилы указывают на образование конусообразной воронки у д. Заболотово и оз. Новый Провал севернее д. Дурнята.

На пойме р. Пожвы расположена Дурнятская карстовая депрессия площадью около 2 км<sup>2</sup>, где отмечены 11 озер, 5—7 воронок и сухое русло ручья. По возрасту котловины, условиям питания, химизму воды озера делятся на три группы.



Таблица 3

Карстовые участки и поля восточной части Полазнинского  
карстового района по К. Г. Бутыриной [26]

Участок, поле (№ на рис. 11)	Исследова нная площадь, км <sup>2</sup>	Количе ство форм	Средняя плотность, ф/км <sup>2</sup>
Нижнекошвинский			
Заболотное (18)	12,0	12	1
Рябовское (19)	0,45	5	11
Дурнятская депрессия (20)	2,00	16	8
Таборский			
Баяновское (21)	0,92	70	76
Таборское (22)	1,95	61	31
Мальковское (23)	1,84	114	62
Кыжовское (24)	1,13	8	7
Голубятский (25)			
Усолкинский			
Кушминское (26)	2,98	6	2
Борисовское (27)	1,75	21	12

В центральную группу входят наиболее глубокие сточные озера (Белое, Роголек глубиной 46 и 61 м) с преимущественно подземным питанием (рис. 16). Они имеют сульфатный и хлоридный состав воды при ее минерализации от 1,8 до 12,9 г/л. Озера западной и восточной групп находятся в разных стадиях развития: среди них есть и недавно возникшие (Новый Провал) и покрытые сплавной (Малое, Савушкин Ложок, Сидоровское). Они бессточные, содержат слабо минерализованную воду [22].

Старично-карстовые озера у пос. Наумята и д. Усть-Ключанка расположены также на низких аккумулятивных террасах. От других старичных озер они отличаются высокой минерализацией (13,5—24,5 г/л) и хлоридно-натриевым составом воды. На Нижнекошвинском участке происходит разгрузка солоноватых и соленых карстовых вод в озера.

Таборский участок занимает бассейн нижнего течения р. Вильвы между устьями ее притоков — Истока и Кыжа. К нему относятся также закарстованные территории, лежащие к востоку от д. Тихой, и бассейн среднего течения р. Ключанки.



Рис. 16. Дурнятская карстовая депрессия: 1 — озеро, 2 — заболоченность, 3 — сухое русло, 4 — граница депрессии [24]

Этому участку соответствует северная часть Косьвинско-Чусовской седловины. В скважинах, пробуренных северо-восточнее с. Таборы и на водоразделе рек Вильвы и Истока, среди песчаниково-аргиллитово-алевролитовых отложений верхнего кунгура встречаются сульфатные слои мощностью до 20 м. и линзы каменной соли до 50 м; которые подвергаются выщелачиванию. На водоразделе Косьвы и Ключанки каменная соль не обнаружена, но некоторое засоление песчаников и алевролитов наблюдается. Покровные со ликамские, преимущественно трещиноватые терригенные породы с прослоями карбонатов, в верхней части эродированные и местами нарушенные карстом, распространены на водоразделах. Сульфатный и соляно-сульфатный карст относится к закрытому типу, т. е. развивается в толще терригенных пород. На площади 5,8 км<sup>2</sup> закартировано 253 карстовые формы со средней плотностью 43 на 1 км<sup>2</sup>, максимальной — до 450 [26]. На участке выявлено 4 карстовых поля (табл. 3). По данным старожилов, за 78 лет около с. Таборы и д. Бояново в радиусе 2—2,5 км случилось 12 провалов и просадок. Голубятский участок расположен в бассейне среднего течения р. Вильвы. Здесь Косьвинско-Чусовская седловина осложнена небольшими положительными структурами, в пределах которых на поверхность местами выходят гипсы и ангидриты (по р. Кухтым,

Пелуч и др.). Выявлено также локальное поднятие, связанное, вероятно, с раздувом солей.

Как отмечает К. Г. Бутырина, маршруты вдоль рек позволили установить воронки, овраги, сухие речки (Кухтым, Пелуч, Сухая, мутная), карстовые депрессии (в долине р. Кухтым), источники и многочисленные озера. Одиночные или расположенные гнездами чашеобразные и конусообразные воронки, а также овраги осложняют склоны террас правого берега р. Вильвы, от дер. Мутная на севере до с. Голубята на юге. Обычный поперечник воронок 10—25 м (максимальный — до 80 м), глубина 5—17 м. В бассейнах рек Кухтым и Пелуч в бортах и на дне некоторых воронок отмечен выход иренских гипсов.

На пойме и первой надпойменной террасе р. Вильвы между пос. Вильва и с. Голубята описано 7 озер округлой формы с поперечником от 40 до 250 м и глубиной от 4 до 12 м. Озера находятся в разных стадиях развития, имеют преимущественно сульфатную воду с минерализацией 2—3 г/л и более. Наибольший интерес представляет озеро Вильвенское-2, вода которого неоднородна по химическому составу.

Усолкинский участок занимает бассейн р. Усолки и прилегающие к нему с запада и севера междуречные пространства. Южное крыло Косьвинско-Чусовской седловины переходит здесь в Юрюзано-Сылвинскую депрессию мощность карбонатно-терригенного Соликамского горизонта значительна. Поверхностные карстовые формы, преимущественно воронки, встречаются гнездами или небольшими полями среди незакарстованных площадей. Например, у д. Борисово на площади 1,7 км<sup>2</sup> насчитывается 21 воронка с поперечником от 3 до 77 м и глубиной от 1 до 2 м. Гнезда по 2—4 воронки приурочены к зонам повышенной трещиноватости соли камских отложений. Некоторые воронки заполнены водой.

**Пещеры.** В районе изучено 9 пещер, тяготеющих к гипсово-ангидритовым обрывам Камского водохранилища (рис. 17). Большая часть их образована в два этапа: вначале водами подземных потоков, разгружавшихся в долинах рек Камы и Чусовой, а затем при частичном затоплении водами водохранилища. Стены и своды гротов изъедены агрессивной по отношению к гипсам видой. В условиях периодического затопления в теплый период года подобные пещеры быстро эволюционируют, как например, пещера малая Дивья (рис. 18). По густой сети трещин в ней возник лабиринт ходов шириной 0,5—0,8 м, высотой до 1,5 м, суммарной протяженностью около 1 км. В ходах активно протекают обвальные процессы.

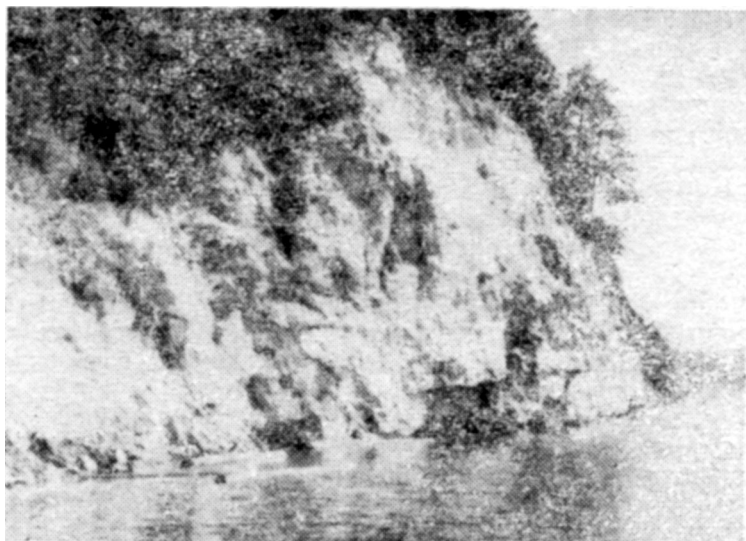


Рис. 17. Обнажение гипса по берегу Камского водохранилища



Рис. 18. План пещеры малая Дивья (съемка спелеологов г. Перми, 1984)

Изучение карста Полазнинского карстового района приобретает особое значение в связи с решением вопросов водоснабжения, сельскохозяйственным производством, эксплуатацией месторождений нефти, различными видами строительства.

## Нижнесылвинский район гипсового и карбонатно-гипсового карста

Район занимает бассейн нижнего течения р. Сылвы (рис. 11). Исследование карста осуществляли Кунгурский стационар УрО АН [67—69, 71, 99—101], кафедра физической географии Пермского университета [28, 29, 31], ВерхнекамТИСИЗ [86, 92, 93]. Карстопроявления картировались при гидрогеологических съемках, произведенных Пермской геологоразведочной экспедицией (Е. Н. Бобров, А. М. Оскотский, Л. И. Трапезникова, А. И. Шумилин).

Геологические условия развития карста. Район занимает восточную окраину Восточно-Европейской платформы на границе с Предуральским прогибом. Крупные структуры осложнены Мазунинской и Веслянской валообразными зонами, в пределах которых выделяются локальные структуры меньших размеров.

Зона активного водообмена и карстообразования складывается нижним (кунгурский ярус) и верхним (уфимский ярус) отделами пермской системы (рис. 19). Уфимский ярус включает два горизонта. Филипповский горизонт залегает на артинских известняках и перекрывается иренским горизонтом. Он представлен доломитами и доломитизированными известняками, сильно трещиноватыми, мощностью 80—90 м.

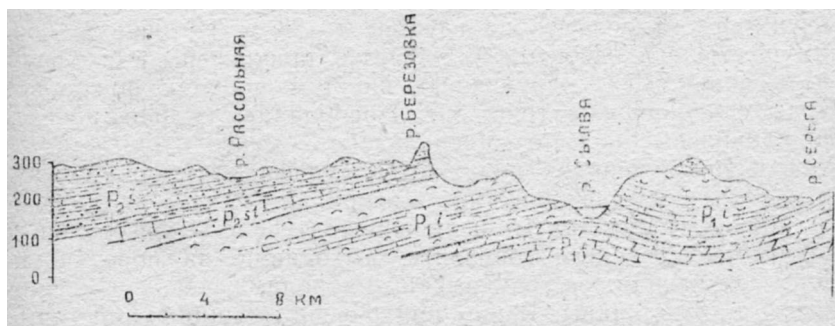


Рис. 19. Геологические условия карстообразования в Нижнесылвинском карстовом районе (по данным Сылвинской гидрогеологической партии)

Доломиты вскрыты карьером у с. Филипповка и выходят на поверхность в долине р. Шаквы.

В составе иренского горизонта чередуются пачки (снизу вверх): ледяно-пещерская гипсов и ангидритов мощностью 30—35 м, неволинская доломитов (9 м), шалашнинская гипсов и ангидритов (20—25 м), елkinsкая доломитов (6 м), демидковская гипсов и ангидритов (25—30 м), туйская известняков (10—15 м), лунежская гипсов и ангидритов (69—70 м).

В бассейне р. Шаквы иренский горизонт фациально замещается поповской свитой тонкоплитчатых мергелей, песчаников, глинистых известняков, аргиллитов и алевролитов с линзами и прослоями гипса и каменной соли. Севернее с. Серга на водоразделах он перекрыт Соликамским горизонтом уфимского яруса, который представлен в нижней части доломитами, иногда окремнелыми, с прослойками глины и селенита; в верхней — тонкозернистыми известняками, переслаивающимися плитчатыми мергелями, глинами, алевролитами и песчаниками. Ольховская карстовая брекчия менее распространена, чем в районе, расположенном южнее. Пермские породы почти повсеместно покрыты алювиально-делювиальными, а в долинах рек — аллювиальными отложениями.

Гидрогеологические условия развития карста. В зоне активного водообмена гидрогеологи Пермской геологоразведочной экспедиции выделяют четвертичный, Соликамский водоносные комплексы и трещинно-карстовые воды спорадического распространения иренского горизонта кунгурского яруса. Водоносность Соликамских отложений неравномерна. Встречаются водообильные, спорадически обводненные и безводные участки. Не нарушенные карстом Соликамские породы содержат трещинно-грунтовые воды, залегающие в зависимости от рельефа на глубине 7—28 м. Источники, преимущественно с дебитом 0,1—0,5 л/с, приурочены в основном к песчаникам. В нарушенных карстом породах подземные воды сдренированы (рис. 20). Преобладают гидрокарбонатно-кальциевые воды с минерализацией менее 0,5 г/л, в загипсованных породах появляются сульфатно-гидрокарбонатные воды с повышенной минерализацией.

Гипсы и ангидриты, в меньшей степени — известняки и доломиты иренского горизонта, выходящие на поверхность или залегающие под Соликамскими породами небольшой мощности, закарстованы. К ним приурочены трещинно-карстовые воды спорадического

распространения.

Тюйские известняки, не нарушенные карстом, представляют собой водоупор, на котором формируются трещинно-карстовые воды лунежской пачки гипсов. Там, где они приподняты над руслом реки, лунежские гипсы, как правило, безводны, а в нижележащих пачках отмечаются разобщенные карстовые водотоки. маломощные неволинская и елкинская пачки доломитов почти повсеместно нарушены, и только местами они играют роль водоупоров.

Обводненность иренских отложений крайне неравномерна. Дебит некоторых источников достигает 100 л/с при характерном для района 4—6 л/с. Присутствие крупных источников при невысокой средней во дообильности иренских отложений подтверждает существование концентрированных водотоков, приуроченных к контакту сульфатных и карбонатных пород. На границе цокольных и аккумулятивных террас формируются бортовые потоки. Карстовые воды питают реки Сергинку, мечку и Шадейку. Неравномерная обводненность пород, наличие безводных участков, высокая минерализация и жесткость подземных вод неблагоприятны для водоснабжения.

**Карстовые явления.** Карст проявляется преимущественно в гипсах и частично — в карбонатных породах иренского горизонта, в меньшей степени — в известняках и доломитах Соликамского горизонта. Он относится к голому и задернованному, на значительных площадях к подэлювиальному, подаллювиальному — в долинах рек, закрытому — под Соликамскими породами.

Экспедиция кафедры физической географии Пермского университета исследовала 4 карстовых участка в Сылвинско-Шаквинском междуречье (табл. 4).

Юрмаио-Мульковский карстовый участок расчленен долинами рек Кутамыша, Юрмана и оврагами [27, 28]. Трещи новатые гипсы и ангидриты мощностью 85—90 м приподняты над дренами.

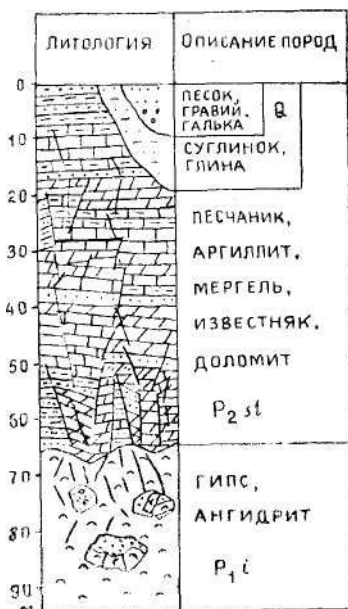


Рис. 20. Карстовые деформации Соликамского горизонта [169]

Таблица 4

Плотность карстовых форм изученных карстовых участков  
Нижнесылвинского карстового района [28]

Карстовый участок	Площадь, км <sup>2</sup>	Количество форм	Средняя плотность, ф/км <sup>2</sup>
Юрмано-Мульковский	34,1	588	17,2
Сергинский	63,1	598	9,5
Дубовский	63,9	855	13,4
Нижнешаквинский	52,7	515	9,8
междуречье Сылвы и Бабки	100,0	780	7,8
междуречье Бабки и Ирени	117,8	4054	34,4
Всего	431,6	7390	17,1

Покровные Соликамские отложения трещиноваты, фациально изменчивы. Преобладают закрытый, под элювиальный, а в излучине р. Сылвы у с. Насадка — пода элювиальный типы карста. На площади 34 км<sup>2</sup> зарегистрировано 579 воронок и 9 котловин; имеются озера, карстовые и карстово-эрозионные лога, овраги (Насадкинский и др.; Средняя плотность карстовых форм составляет 17, максимальная — 237 на 1 км<sup>2</sup>, коэффициент площадной закарстованности — 0,32%. На участке имеются свежие провалы. Детально исследованы карстовые поля: Насадкинское, мульковское (рис. 21, № 1, 2), Благодаровское, Бурковское (рис. 22, № 3, 4).

Сергинский карстовый участок расположен в основном на правом берегу Сылвинского залива и включает карстовые поля Елкинское, Сергинское, Дубровинское, Шатовское (рис. 23, № 5—8). Гипсово-ангидритовая толща имеет мощность до 100 м и более. Она перекрыта Соликамскими терригенными отложениями, мощность которых уменьшается с востока на запад вплоть до выклинивания. Карст закрытый, по берегам Сылвы и Сергинки отмечен голый и задернованный карст. На площади 63 км<sup>2</sup> изучено 587 воронок, 4 котловины, 7 оврагов, описаны 24 озера. Средняя плотность форм — 9,5, максимальная — 112 на 1 км<sup>2</sup>, средний коэффициент площадной закарстованности составляет 0,54%.



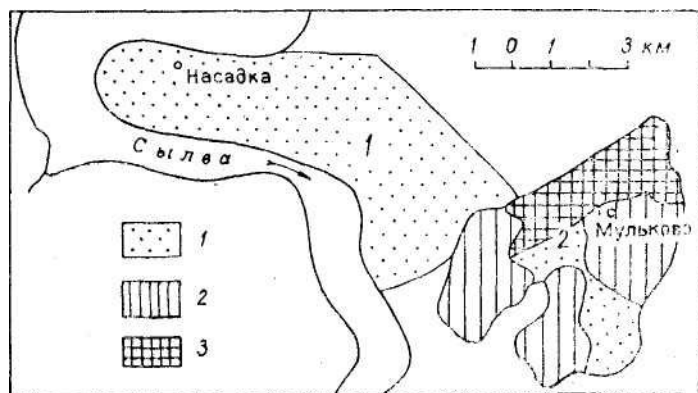


Рис. 21. Плотность карстовых форм Насадкинского (1) и Мulyковского полей: 1 — менее 10 ф/км<sup>2</sup>, 2 — 60—80, 3 — более 100 (по А. В. Лютовой)

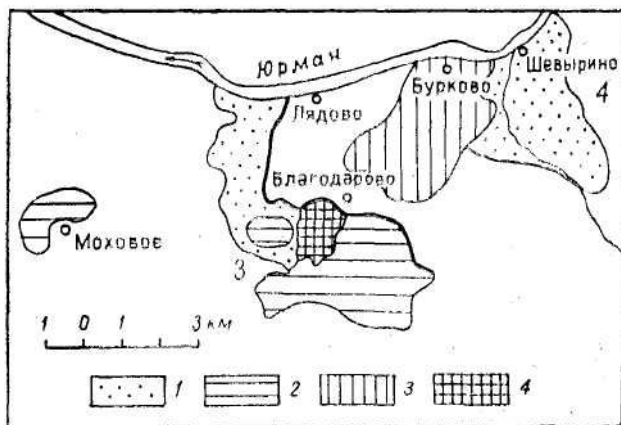


Рис. 22. Плотность карстовых форм Благодаровского (3) и Бурковского (4) карстовых полей Юрманно-Мulyковского карстового участка: 1 — менее 10 ф/км<sup>2</sup>, 2 — 10—40, 3 — 40—60, 4 — 100 и более [28]

В районе с. Серга проводил исследования Верхнекам ТИСИЗ. Здесь развит подальлювиальный, частично, на коренном склоне, покрытый и голый карст гипсов и ангидритов, в меньшей степени — известняков и доломитов иренского горизонта, перекрытых аллювиальными, делювиальными и обвальными-карстовыми отложениями мощностью от 6,2 до 33,3 м.

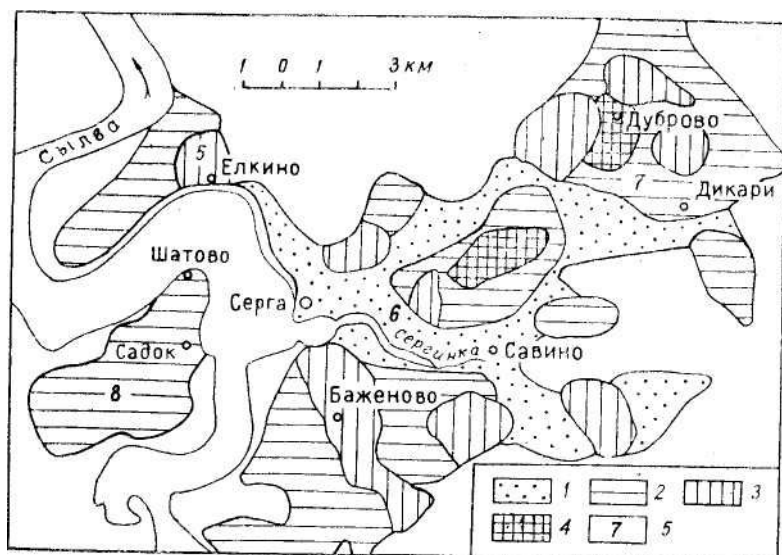


Рис. 23. Плотность карстовых форм Сергинского карстового участка: 1 — менее 10 ф/км<sup>2</sup>, 2 — 10—40, 3 — 40—80, 4 — более 100, 5 — номер поля (по А. В. Лютовой)

Выделяются прирусловая и склоновая обстановки развития карста. К первой относятся низкие аккумулятивные террасы с залитой водами Камского водохранилища поймой, ко второй — участки более высоких террас и коренной склон. Намечены две зоны с различной интенсивностью проявления карста. Первая зона включает центральную часть села и прилегающие площади I и II надпойменных террас, характеризующиеся периодичностью образования провалов менее 0,02 случая на 1 км<sup>2</sup> в год. В этой зоне рекомендуется ограничение плотности застройки.

Вторая зона отличается значительной амплитудой колебания уровня карстовых вод (до 8 м). Трещины разгрузки и бортовые потоки осложняют закарстованные гипсы и об вально-карстовые отложения в полосе сочленения аккумулятивных и эрозионных террас. Здесь развиты карстовые рвы и впадины, щелеобразные пещеры; плотность карстовых форм достигает 550 на 1 км<sup>2</sup>. Коэффициенты площадной и объемной поверхностной закарстованности составляют соответственно 23% и 79 см. Вертикальный размер вскрытых

скважинами незаполненных полостей 1,9 м, заполненных — до 14,4 м, а частота провалов — 4 случая на 1 км<sup>2</sup> в год. Эта зона непригодна для строительства.

Дубовский карстовый участок занимает наиболее возвышенную часть междуречья. Обнажения карстующихся пород отсутствуют. Ему присущ карбонатно-сульфатный тип карста. На площади 63,9 км<sup>2</sup> изучено 855 воронок и просадок, 1 депрессия (рис. 24), 3 карстово-эрозионных оврага, 1 суходол и 19 озер.

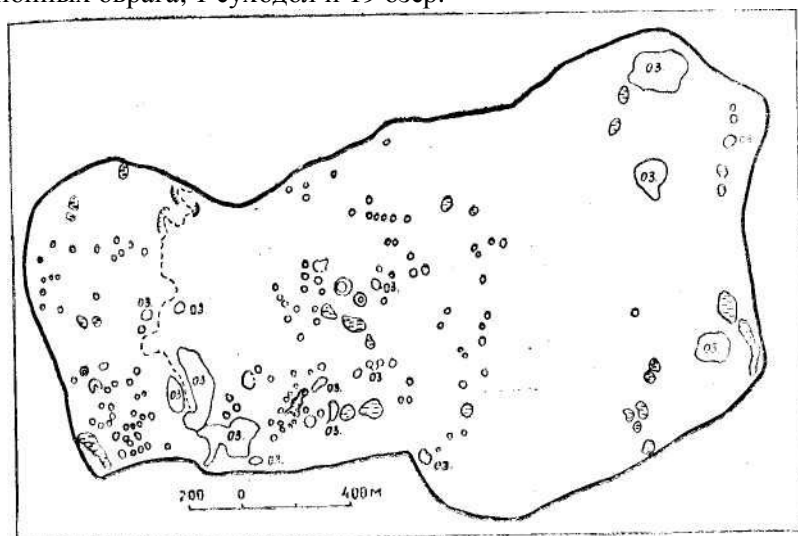


Рис. 24. Сажинская карстовая депрессия, осложненная сухими, заполненными водой и заболоченными воронками

Средняя плотность форм — 13,4, максимальная — 80 на 1 км<sup>2</sup>, средний коэффициент площадной закарстованности — 0,70%. У д. Сажино находятся довольно крупная карстовая депрессия и суходол (долина р. Девятильдеевки). Детально обследованы карстовые поля: Бартовское, Володинское, Сажинское, Среднее, Девятильдеевское (рис. 25, №9—13).

Нижнешаквинский карстовый участок расположен на правом берегу р. Шаквы. Здесь преобладает карбонатно-сульфатный тип карста. На площади 52,7 км<sup>2</sup> изучены 492 воронки и просадки, 2 карстово-эрозионных оврага, 1 суходол и учтено 20 озер. Средняя плотность форм составляет 9,8, максимальная — до 90 на 1 км<sup>2</sup>, коэффициент площадной закарстованности — 0,5%.

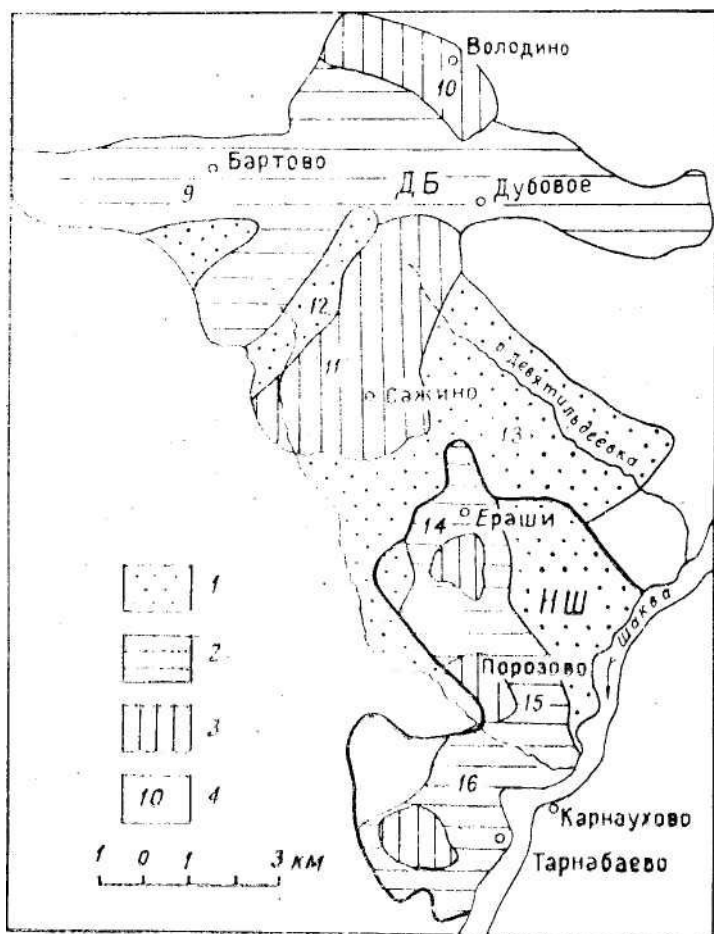


Рис. 25. Плотность карстовых форм Дубовского (ДБ) и Нижнешаквинского (НШ) карстовых участков: 1 — менее 10 ф/км<sup>2</sup>, 2 — 10—40, 3 — 40—80, 4 — номер карстового поля [28]

Закартировано 3 поля: Ерашинское, Порозовское, Тарнабаевское (рис. 25, № 14—16).

Карстовый участок междуречья Сылвы и Бабки (рис. 11, № 17) начиная с 1951 г. исследовался в связи с проведением ЛЭП КамГЭС. В полосе трассы шириной до 250 м произведены геоморфологическая съемка, бурение, геофизические работы. В 1952—1953 гг. В. С. Лукин изучал провальные явления.

Ю. А. Власов [30] обследовал карст на площади в 100 км<sup>2</sup>. Гипсы и ангидриты выходят на поверхность в восточной части междуречья по берегам р. Сылвы, в глубоких оврагах и карстовых воронках. В западной части они перекрыты Соликамскими породами. Выход гипсов наблюдается в крутых обрывах долины р. Бабки. Гипсы разрабатываются в районе ст. Ергач.

На участке преобладает гипсовый карст. Формы его проявления — воронки, карстово-эрозионные лога, полости, пещеры. Плотность форм на отдельных участках достигает 300 на 1 км<sup>2</sup>. Преобладают воронки диаметром от 5 до 25 м. Часть воронок (87 из 780) заполнена водой или заболочена многочисленные карстовые воронки в восточной части междуречья расположены группами (у деревень Кочебахти но, Бобры) или цепочками в направлении от д. Согрино к д. Кайгородово. В окрестностях д. Кочебахтино в воронках, диаметр которых достигает 50 м, обнажены гипсы.

В. П. Костарев, В. М. Изотов, М. Ш. Димухаметов [91] приводят данные о карсте окрестностей с. Согрино, расположенного северо-западнее г. Кунгура. Местность представляет собой III и IV террасы р. Сылвы высотой 16—34 м над уровнем реки. Террасы в основании сложены сульфатными и карбонатными породами иренского горизонта, на которых залегают аллювиальные отложения мощностью от 7 до 30 м. Породы сильно закарстованы на глубину 5 м ниже уровня р. Сылвы. Скважинами вскрыты полости с вертикальным поперечником до 5,5 м. Часть их заполнена обломочным и глинистым материалом. Плотность карстовых форм составляет сотни на 1 км<sup>2</sup>. По степени устойчивости исследователи наметили три зоны: очень неустойчивую, неустойчивую и не достаточно устойчивую. Строительство зданий рекомендуется только в последней зоне.

В Саркаевском месторождении гипсов лунежской пачки развит закрытый, в незначительной степени — голый и задернованный карст. многочисленные карры, поноры, воронки, колодцы, карстово-эрозионные овраги и карстовые рвы распространены на крутом коренном склоне р. Бабки и прилегающей территории, где местами коэффициент площадной закарстованности превышает 50%. Закарстованию способствуют трещины бортового отпора, к которым приурочены небольшие (5—10 м) щелеобразные холодные пещеры. Коэффициенты площадной и объемной поверхностной закарстованности всего месторождения соответственно составляют 10% и 50 см.

Кровля гипса залегает на отметках от 135 до 188 м при мощности покровных рыхлых отложений от 0 до 38 м. Вскрытые разведочными и эксплуатационными скважинами карстовые полости, обычно заполненные глинисто-обломочным материалом, имеют вертикальные размеры от 0,1 до 5,25 м. Они приурочены к высококачественным сортам гипса, границам разносортных гипсов или контактам гипсов с ангидритами, известняками, мергелями. Сложный рельеф кровли гипса и наличие карстовых полостей затрудняют эксплуатацию месторождения. Глинистые отложения, заполняющие карстовые полости, впадины и закарстованные трещины, снижают качество (сортность) гипсового сырья.

Карстовый участок междуречья Бабки и Ирени (рис. 11, № 18) примыкает с юга к предыдущему. Он детально исследован сотрудниками Кунгурского стационара УрО АН России.

Наиболее изучена территория г. Кунгура и его окрестностей. Кунгур расположен в месте слияния рек Сылвы, Ирени, Шаквы и Бабки. Возвышенные, слабо всхолмленные водораздельные пространства чередуются здесь с глубоко врезынными речными долинами и логами.

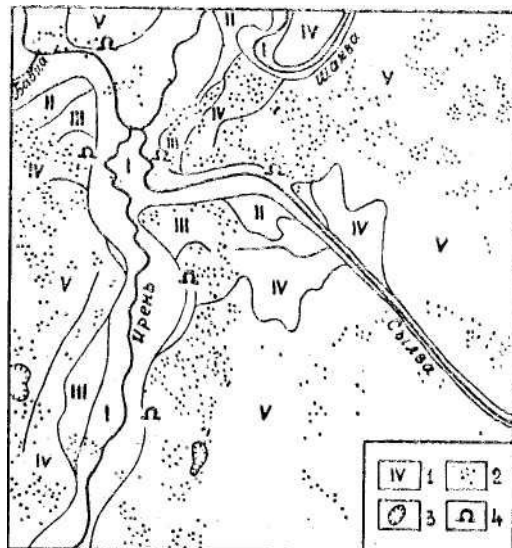


Рис. 26. Схема расположения террас и воронок на Кунгурском карстовом участке и прилегающих территориях: 1—террасы, 2— воронки, 3— котловины, 4 — пещеры, (по В. С. Лукину и Ю. А. Ежову [102])

В долинах рек намечается комплекс террас (рис. 26). Наиболее древние из них возвышаются над меженным уровнем рек на 70—120 м. IV надпойменная терраса высотой 55—60 м имеет ширину 2 км. На III цокольной террасе (30—40 м) расположена горная часть Кунгура, а также пригородные поселки. Ширина террасы в районе города достигает 1,5 км. Склоны ее крутые со скальными обнажениями гипсов, ангидритов, известняков и доломитов. II аккумулятивная терраса (15—25 м) слабо выражена в рельефе. I терраса (4—12 м) вместе с поймой образует широкие днища долин. На ней разместились нижняя часть Кунгура и близлежащие населенные пункты. На поверхности террасы сохранились заболоченные понижения и старичные озера.

Е. П. Дорофеев и Г. А. Шигабутдинова [71] в 1971 г. провели геоморфологическую съемку территории Кунгура и его окрестностей. В сульфатных породах зафиксировано 4054 карстовых формы, среди которых преобладают воронки диаметром менее 10 м (64,8%) и 10—20 м (26,3%).

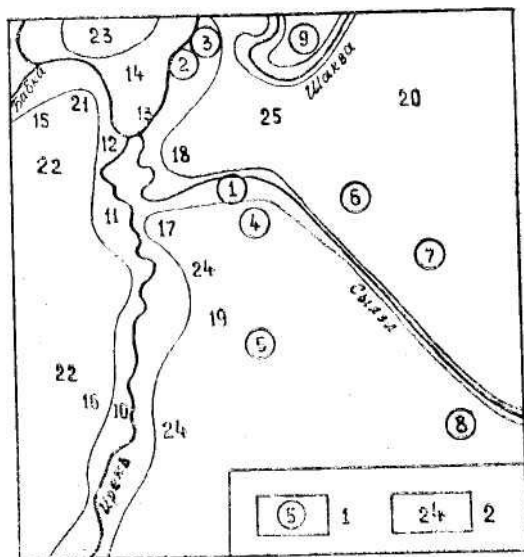


Рис. 27. Площадки с различными условиями строительства на Кунгурском карстовом участке и прилегающих территориях: 1 — карбонатного карста, 2 — сульфатного карста [102]

Наряду с ними описаны 10 котловин с поперечником до 1 км.

В. С. Лукин и Ю. А. Ежов [102] дали инженерно-геологическую оценку 16 площадкам интенсивного сульфатного карста (рис. 27). Карстом поражена территория пос. малая Ша-дейка, расположенного вблизи впадения р. Шадейки в р. Бабку [92]. Здесь выявлены площадки I—IV категорий устойчивости, даны рекомендации по применению противо-карстовых мероприятий.

Нижнесылвинский карстовый район, особенно его южная часть, отличается значительной техногенной нагрузкой. Отмечены случаи активизации карста и провалообразования па автомобильных и железнодорожных магистралях, на застроенных участках [100—102].

**Пещеры.** В районе известно 75 пещер в гипсах и ангидритах, среди которых наиболее крупными являются Кунгур-ская (5600 м), Зуятская (1410 м), Кичменская Ледяная (470 м), Большая мечкинская (350 м).

Кунгурская Ледяная пещера — единственный на Урале экскурсионный спелеообъект. Это одна из наиболее изученных пещер. Ей посвящено более 350 научных и научно-популярных изданий. Вход в подземные гrotы находится на правом берегу р. Сылвы в основании скального обнажения гипсов, ангидритов и доломитов иренского горизонта. В равное время ее использовали как укрытие и хранилище. В 1914 г. житель г. Кунгура А. Т. Хлебников взял в аренду участок с пещерой и начал проводить в ней экскурсии. В 1918 г. созданы карстово-спелеологическая станция и экскурсионное бюро, которое в 1969 г. стало самостоятельной организацией. Пещера оборудована для массового посещения, ежегодно ее осматривают более 150 тыс. туристов.

Пещера представляет собой лабиринт (рис. 28), сформировавшийся в присклоновой части долины р. Сылвы под воздействием главным образом речных вод. Река ранее (около 10 тыс. лет назад) оказывала непосредственное влияние на береговой склон, в настоящее время речные воды внедряются в пещерный массив в периоды весенних и летних паводков, взаимодействуя с подземными водами.

В гrotах помимо форм, созданных речными и подземными водами, имеются пнфильтрационные образования — органные трубы [5]. Наиболее активное образование полостей, по В. С. Лукину, относится к рубежу плейстоцена и голоцена, соответствующему формированию I надпойменной террасы. В пещере выделяется несколько морфологических ярусов





состоянии, ежегодно регистрируются обвалы, особенно на границе теплой и холодной микроклиматических зон, где происходит активное морозное выветривание. В при входовой части пещеры температура воздуха никогда не поднимается выше 0° С, а в дальней внутренней — не опускается ниже 3—5° С. Ледяные образования характерны для ближних гrotтов.

Пещерные озера фиксируют уровень подземных вод, связанный с уровнем р. Сылвы. Однако повышение уровня воды в реке отражается на подземных водоемах с опозданием на несколько дней.

Органическая жизнь пещеры небогата. В ней обитает рачок-бокоплав — «Крангоникс Хлебникова», названный в честь первого хранителя пещеры. Подземные гrotты служат полигоном для разнообразных карстово-спелеологических исследований.

#### Иренский район преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста

Район занимает правобережную часть бассейна р. Ирени. С востока он ограничен карбонатными породами филипповского горизонта кунгурского яруса. Западная граница проводится по левобережью р. Ирени, где иренский горизонт погружается на запад и перекрывается Соликамским, а затем терригенным шешминским горизонтом. На севере за границу с Нижнесылвинским карстовым районом условно принимается широтный отрезок р. Ирени (рис. 29).

Впервые карст Иренского района освещен В. Л. Варса-нофьевой в статье «Карстовые явления в северной части Уфимского плоскогорья», опубликованной в журнале «Землеведение» (1915). Он изучается в связи с геологическими и гидрогеологическими съемками [139, 162], поисками поделочного гипса [36], решением вопросов водоснабжения [161], Карст исследуется сотрудниками Кунгурского стационара УрО АН [17, 103, 152—154]. Инженерно-геологические изыскания закарстованных участков в связи со строительством осуществляет ВерхнекамГИСИЗ [88, 89]. В районе проводили экспедиции кафедры физической географии географического факультета, динамической геологии и гидрогеологии геологического факультета Пермского университета [177].

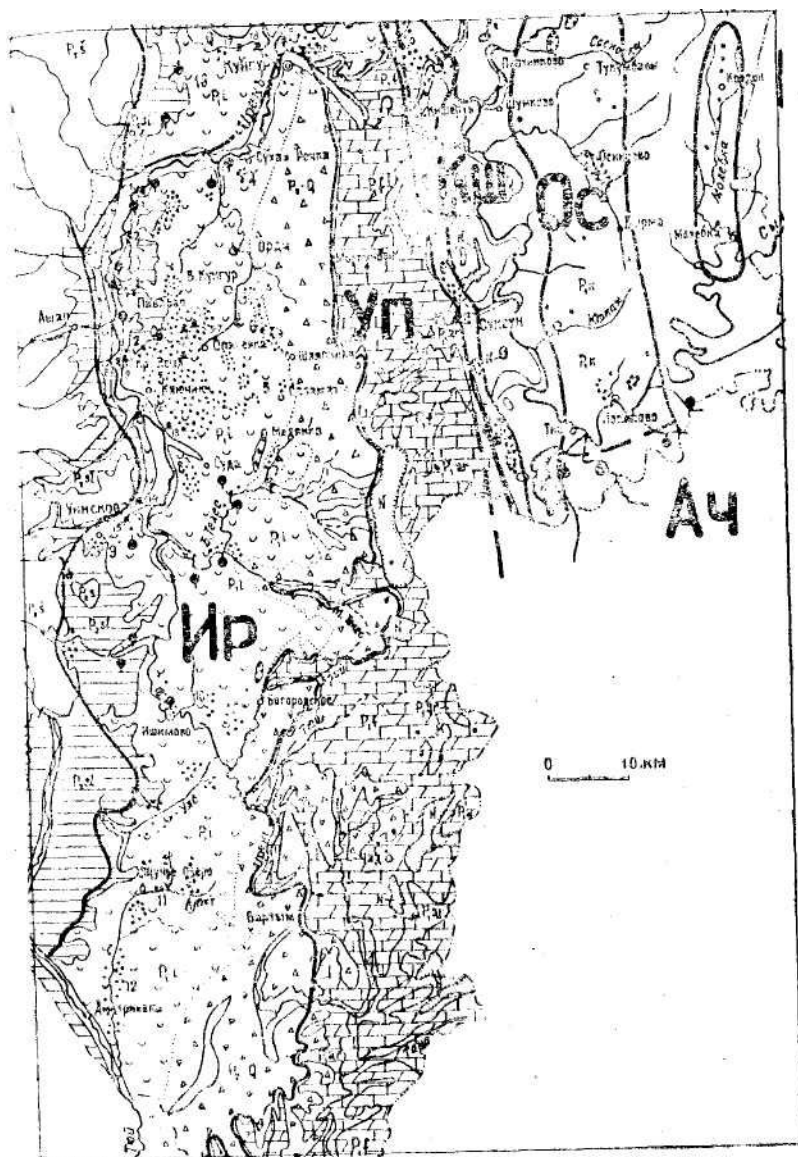


Рис 29 Карстовые районы: Иренский (Ир), Уфимского плато (Уп), Кишертский (Кш), Осинцевский (Ос), Ачитский (Ач)

**Геологические условия развития карста.** Район расположен на восточной окраине Восточно-Европейской платформы. Он находится на границе двух крупных структур: Башкирского свода и Бымско-Кунгурской впадины, осложненных средними и мелкими структурами. Одна из них — Уфимский вал (макробрахиантиклиналь). Иренский карстовый район занимает западное, более пологое по сравнению с восточным, крыло вала (рис. 30).

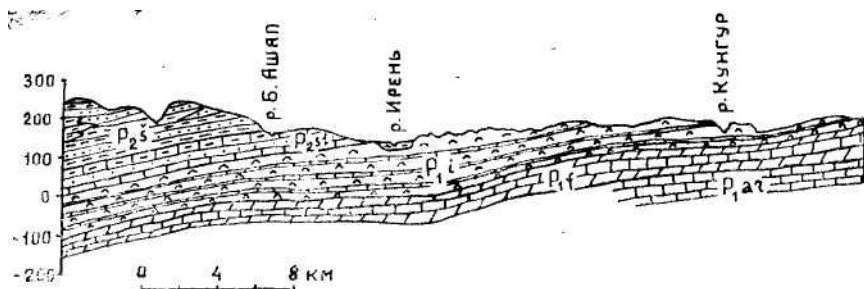


Рис. 30. Геологические условия карстообразования в Иренском карстовом районе (по данным Сылвинской гидрогеологической партии)

Зона активного водообмена и карстообразования складывается породами кунгурского яруса. В основании залегает филипповский горизонт плитчатых доломитов, нередко известковистых, оолитовых, прослоями мелоподобных, местами кавернозных. Каверны заполнены гипсом и ангидритом. Большей частью они мелкие, но отдельные достигают 5 см. Доломиты обнажаются в верховьях долин рек Медянки, малого Телеса, Ария мощность горизонта 40—90 м.

Иренский горизонт включает 7 пачек (снизу вверх): ледяно-пещерскую гипсово-ангидритовую (мощность 30—85 м), неволинскую доломитовую (до 9 м), шалашнинскую гипсово-ангидритовую (20—25 м), елкинскую известняковую (до 6 м), демидковскую ангидритовую (25—30 м), туюскую известняковую (10—15 м), лунежскую гипсово-ангидритовую (60—70 м). Наиболее выдержаны по мощности и простираению туюская и лунежская пачки. В западной части иренский горизонт перекрыт Соликамским горизонтом уфимского яруса, представленным известняками, мергелями, песчаниками, глинами, доломитами с прослоями ангидритов, реже — гипсов. В восточной части на границе

филипповского и иренского горизонтов распространена карстовая брекчия.

**Гидрогеологические условия.** К зоне активного водообмена приурочены грунтовые воды элювиальных, элювиально-делювиальных, аллювиальных отложений, воды спорадического распространения Соликамского горизонта и ольховскоп карстовой брекчии, водоносный комплекс иренского горизонта кунгурского яруса [33].

В соликамском горизонте спорадичность распространения вод обусловлена нарушением карстом иренских гипсов и ангидритов. На нарушенных карстом участках появляется скрытый перелив вод из Соликамского горизонта в иренский.

Иренский водоносный комплекс приурочен к сильно закарстованным гипсово-ангидритовым и карбонатным пачкам. Иренские гипсы по мере погружения на запад под более молодые отложения выполняют роль регионального водоупора. В иренском горизонте развиты как разобщенные карстовые водотоки, так и водоносные горизонты. Лунежский водоносный горизонт подстилается туюскими известняками и залегает на глубине 10—43 м. Обводненность его неравномерная, дебиты родников составляют 0,1—40 л/с, в некоторых случаях достигают 100 л/с. На участках, где туюские известняки приподняты над реками и закарстованы, лунежская пачка безводна или обводнена спорадически. В нижней части иренских отложений, как правило, формируются разобщенные карстовые водотоки, что подтверждается наличием безводных скважин и высокодебитных родников. Состав вод сульфатно-кальциевый, их минерализация 2—3 г/л. Спорадически обводненные карстовые брекчии распространены в восточной части района, на границе с карбонатами филипповского горизонта.

**Карстовые явления.** Карст относится к голому на участках выхода пород на поверхность, задернованному, подэлювиальному, подаллювиальному, местами закрытому (под соликамскими пекарствующимися или менее карстующимися карбонатными отложениями).

Формы проявления карста разнообразны. Карры развиты на обнаженных склонах долин рек Ирени, Асиы, Судинки, сложенных гипсом. Поноры в окрестностях с. Красный Ясыл представляют собой зияющие отверстия в воронках. В месте исчезновения р. Судинки они имеют вид щелей. Карстовые колодцы и шахты в гипсах лунежской

пачки описаны па междуречье Аспы и Ирени. Преобладают карстовые воронки, наибольшая плотность которых отмечается в присклоновых частях, на склонах долин, логов и оврагов.

На площади развития демидковской пачки гипсов в окрестностях д. Арсеновка и Захаровка на водоразделе и в присклоновой части долины р. Опачевки плотность карстовых форм достигает 160. Воронки приурочены к склонам долин и присклоновым частям водоразделов рек Кунгур, Опачевка, Судинка, Большой и Малый Телес [162]. В направлении от долин к водоразделам их плотность уменьшается, что объясняется увеличением мощности покровных отложений в этом же направлении. В местах, где гипсы и ангидриты залегают неглубоко либо выходят на поверхность, плотность воронок резко увеличивается.

Цепи воронок в ряде мест приурочены к трещиноватым зонам. В долине р. Судинки они расположены параллельно реке соответственно простираению трещин бортового отпора. В долине р. Телес поля воронок линейного типа развиваются вдоль тектонических нарушений.

Для гипсов характерны эрозионно-карстовые и карстовые лога. Слепой лог южнее д. Верхний Кунгур длиной около 400 м, шириной 50 м перпендикулярен долине р. Кунгур, по сток в нем происходит не к долине, а в обратном направлении — к воронке. Описаны подобные лога вблизи сел Красный Ясыл, Орда, д. Павлово.

Карстовые котловины распространены в гипсах и карстовой брекчии. Одни из них вытянуты вдоль выхода гипсовых пачек, как, например, котловины западнее сел медянка и Суда, другие — округлые в плане (у с. Шляпники). Поля карстовых воронок и котловины западнее сел медянки и Богородского простираются вдоль выходов демидковской и шалашиннской пачек гипсов.

Карстовые депрессии образуются, как правило, на границе карбонатов флипповского и гипсово-ангидритовых отложений иренского горизонтов [152]. Это обширные понижения с более пологим, но высоким восточным и пониженным крутым западным, совпадающим с границей распространения гипсов, склонами. Они отличаются большой мощностью карстовых брекчий. Таковы депрессии юго-восточнее д. Сухая Речка, южнее д. Арсеновка, вблизи с. Шляпники, д. Озерки, с. Медянка. Депрессии способствуют концентрации и инфильтрации поверхностного стока, питанию карстовых вод, которые вытекают па контакте с гипсами, давая начало

рекам медянка, Арий и др.

Для Иренского карстового района типичны карстовые реки, большая часть которых является правыми притоками р. Ирени. многие из них, например Тураевка, Ясыл, Чураковка, имеют мешкообразные долины. Их истоки представляют собой карстовые родники, вытекающие у подножья гипсовых скал, ограничивающих, как правило, верховье долины. Река Тураевка впадает в р. Ирень у д. Захаровка. Она образуется от слияния двух карстовых родников и на протяжении 1 км течет по поверхности. Затем она теряется под обнажением гипса на правом склоне долины. Подземный путь реки составляет более 1 км и заканчивается мощным карстовым родником. Подземное течение реки прослеживается в ее среднем течении в двух воронках [161]. Река Ясыл начинается небольшим родником, несколько раз исчезает с поверхности и появляется вновь. Исток р. Чураковки представляет собой мощный карстовый родник, выходящий у подножья обнажения гипса. Ниже д. Чураки река исчезает, а затем вновь выходит на поверхность в основании обнажения гипса группой родников. Реку Судинку питают небольшие родники в окрестностях с. Суда. Ниже по течению ее расход возрастает до 230 л/с. Затем она исчезает в обнажении гипса на правом склоне долины и течет под землей чуть более полукилометра, появляясь вновь в виде родников. Река Асия, левый приток р. Ирени, на 1,5 км выше устья теряет часть воды благодаря понору у правого склона долины.

Кроме более или менее крупных карстовых рек имеются мелкие карстовые ручьи, такие как в с. Ключики 2-е. Этот ручей вытекает из пещеры, неоднократно теряется и появляется вновь до впадения в р. Ирень.

Впервые закономерности распространения карста правобережной части бассейна р. Ирени были установлены М. Н. Вагаевым, П. Л. Костогрызом и К. П. Плюсиным. Они наметили вытянутые примерно в меридиональном направлении карстовые зоны, соответствующие выходам погружающихся на запад гипсово-ангидритовых и известняково-доломитовых пачек иренского горизонта. Первая зона совпадает с площадью развития четырех нижних пачек: ледино-пещерской, певолипской, шалашнинской, елkinsкой, причем гипсовые пачки почти полностью выщелочены и замещены карстовой брекчией, залегающей на филипповских доломитах. Вторая зона приурочена к демидковской пачке гипсов и

ангидритов и местами перекрывающих их туюйских известняков и доломитов. Она характеризуется глубокими конусообразными воронками с поперечником 30—60 м и глубиной до 30 м. Западнее намечается карстовая зона в гипсах лунежской пачки. Вблизи контакта с туюйской пачкой воронки преимущественно мелкие. При движении на запад по мере погружения туюйской пачки они становятся глубже. Вблизи западной границы района, где гипсы перекрыты Соликамскими плитняками, развиты глубокие провальные воронки.

Степень изученности карста Иренского района различна. Намечается несколько наиболее изученных участков.

Бассейн нижнего течения р. Ирени (ниже по течению устья р. Кунгурки) впервые детально был обследован в 1950—1951 гг. [37]. На площади 60 км<sup>2</sup> закартировано 1156 воронок. Наиболее закарстованными оказались склоны долины р. Ирени. Во многих воронках обнажаются гипсы. Крупные воронки диаметром до 100 м, глубиной до 25 м расположены на водоразделе южнее Новой Деревни. Кроме воронок описаны 70 карстовых озер, котловины, карстовые и эрозионно-карстовые овраги, пещеры.

Среднеиренский карстовый участок был исследован летом 1976 г. карстологическим отрядом географического факультета Пермского университета под руководством К. Г. Бутыриной. В нем намечено 3 карстовых поля (табл. 5).

Таблица 5

Плотность карстовых форм на изученных полях Среднеиренского карстового участка (по данным Т. И. Туневой)

Поле (№ на рис. 29)	Площадь км <sup>2</sup>	Кол-во воронок	Средняя плотность, ф/км <sup>2</sup>
Павловское (1)	9,25 (1,9)	2044 (499)	221 (263)
Красноясыльское (2)	19 (2,4)	2537 (517)	133 (215)
Ключиковское (3)	17 (5,4)	374 (132)	22 (24)
Всего	15,2 (9,7)	4955 (1148)	109 (118)

Примечание: \* Закартированная площадь поля

Павловское поле включает долину р. Тураевки и окрестности д. Павлово (рис. 31). Карст относится в основном к покрытому, голый карст наблюдается на склонах долин и в логах. В окрестностях д. Федоровки имеется закрытый карст [36]. Карстовые формы представлены понорами, воронками, котловинами, оврагами, пещерами.



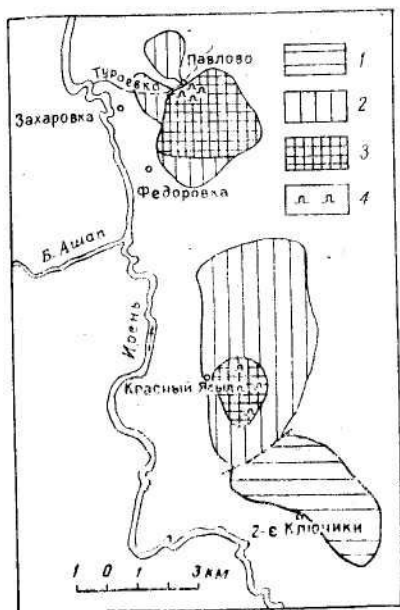


Рис. 31. Плотность карстовых форм закартированных полей Среднеиртышского карстового участка: 1 — менее 50 ф/км<sup>2</sup>, 2 — 50—200, 3 — более 200, 4 — пещеры (по Т. И. Туневой)

чаще всего они располагаются цепочками. Во многих из них выходят коренные породы местами между воронками сохранились узкие перемычки.

А. В. Лукин и Ю. А. Ежов [103] в результате инженерно-геологических исследований на территории с. Красный Ясыл наметили пять категорий устойчивости закарстованных площадей. К устойчивой площади отнесен водораздел рек Ясыла и Ирени, где сохранилась толща соликамских загипсованных пород. Инфильтрующаяся через нее вода становится менее агрессивной относительно гипсов и ангидритов, что исключает образование крупных полостей. Возможно медленное оседание соликамских пород над местами выщелачивания гипсов.

Относительно устойчивая площадь, приуроченная ко дну долины р. Ясыл, характеризуется залеганием гипсов и ангидритов под

На площади 9,25 км<sup>2</sup> зарегистрировано 2044 воронки. Средняя плотность их 221 ф/км<sup>2</sup>. Расположены они группами, полями, редко по одной. Склоны и дно большей части воронок задернованы, покрыты травянистой, кустарниковой и древесной растительностью. В 952 воронках обнажаются коренные породы, в основном гипсы, ангидриты, реже — известняки и доломиты. Наибольшая плотность воронок отмечается в оврагах и на склонах речных долин. Коэффициент площадной закарстованности в среднем для участка: составляет 4,4%, для от дельных полей он достигает 21%. Наряду с коррозионными встречаются провальные формы. Красноясыльское поле имеет площадь 19 км<sup>2</sup>. Воронки здесь преимущественно конусообразные,

песчано-глинистыми отложениями ниже уровня минерализованных подземных вод. Не исключается возможность появления на поверхности просадок диаметром до 5 м. На слабо устойчивой площади, где карстующиеся сульфатные породы перекрыты элювиально-делювиальными и карстовыми отложениями мощностью до 25 м, есть условия для образования крупных подземных полостей, а на поверхности — провалов с поперечником до 12 м. Неустойчивые площади характеризуются высоким залеганием гипсов и ангидритов относительно уровня подземных вод и отсутствием покровных образований. Весьма неустойчивые площади приурочены к сильно закарстованным склонам долины р. Ясыл и суходолов.

Ключиковское поле представляет водораздельное пространство восточнее с. Ключики 2-е. Карстующиеся породы перекрыты толщей покровных отложений. Преобладают воронки диаметром до 40 м. Характерны эрозионные и эрозионно-карстовые лога.

В восточной части района почти в меридиональном направлении протягивается несколько депрессий: юго-восточнее д. Сухая Речка (рис. 29, № 4), в окрестностях с. Шляпники, д. Озерки, с. медянка (рис. 29, № 5). По данным А. Д. Буракова [17], частота возникновения провалов на территории с. Шляпники составляет 0,2 на 1 км<sup>2</sup> в год. Несколько полей воронок включает карстовый участок в окрестностях деревень Захаровна, Белое Озеро, южнее д. Березовая Гора (рис. 29, № 6).

Закарстованные площади междуречья Кунгура и Ирени пересекаются трассами магистральных газопроводов. Здесь наиболее закарстованы составляющие верхнюю (до глубины 40 м) часть разреза гипсы и ангидриты лунежской и демид ковской пачек, а также расположенные между ними туйские доломиты и известняки. Широко развиты воронки, поноры, карры, ниши, пещеры, закарстованные трещины, каверны и подземные полости. Положение эрозионной сети и распространение карста во многом определяется тектоническими нарушениями и трещиноватостью северо-восточного простирания. По комплексу признаков выделено 6 площадей с различной интенсивностью развития карста [88, 89].

Детально изучен карстовый участок на междуречье медянки и Ирени, Здесь, по данным А. В. Турышева, намечается два поля с высокой интенсивностью карста: правобережье р. медянки (рис. 29, № 7), правобережье р. Ирени северо-западнее с. Суда (рис. 29, № 8; 32).

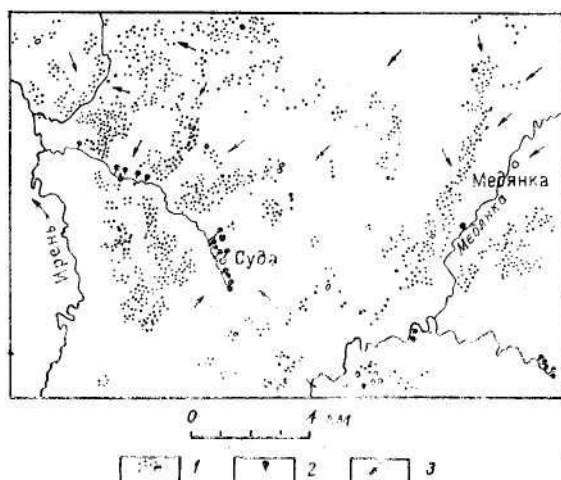


Рис. 32. Карст окрестностей сел Суды и Медянки: 1 — воронки и котловины, 2 — родники, 3 — направление подземного стока (по А. В. Турышеву)

В южной части Иренского карстового района разными авторами отмечены карстовые поля: восточнее с. Уинское (рис. 29, № 9), в окрестностях с. Ишимово (№ 10), с. Щучье Озеро (№ 11), восточнее д. Дмитриевка (№ 12). Исследование карста на участке железной дороги ст. Щучье Озеро — разъезд Атер — разъезд Бартым в связи с возникшим здесь провалом в сентябре 1965 г. осуществил П. И. Яковенко, результаты которого изложены в его кандидатской диссертации «Сульфатный карст Среднего Предуралья и оценка устойчивости железнодорожных сооружений» (1969 г.).

Пещеры. В районе известны 64 пещеры в гипсах и ангидритах, реже — доломитах (Усть-Телес, 19 м). Длиннейшей является Нижнемихайловская-2 (1400), за ней следуют Оптимист (310), Пономаревская (300), Уинская Ледяная (227), Уинская-3 (220), Пономаревская-3 (105 м), остальные пещеры протяженностью менее 100 м.

Нижнемихайловская пещера находится в гипсовом обрыве крутого левого склона долины р. Ирени, неподалеку от с. Ключики 2-е. Два узких входных отверстия ведут в небольшой привходовый лабиринт с заловидными расширениями в местах пересечения ходов (рис. 33). Средняя и дальняя части пещеры образованы сериями параллельных, соединенных перемычками ходов, с небольшими озерами в понижениях глинистого дна.

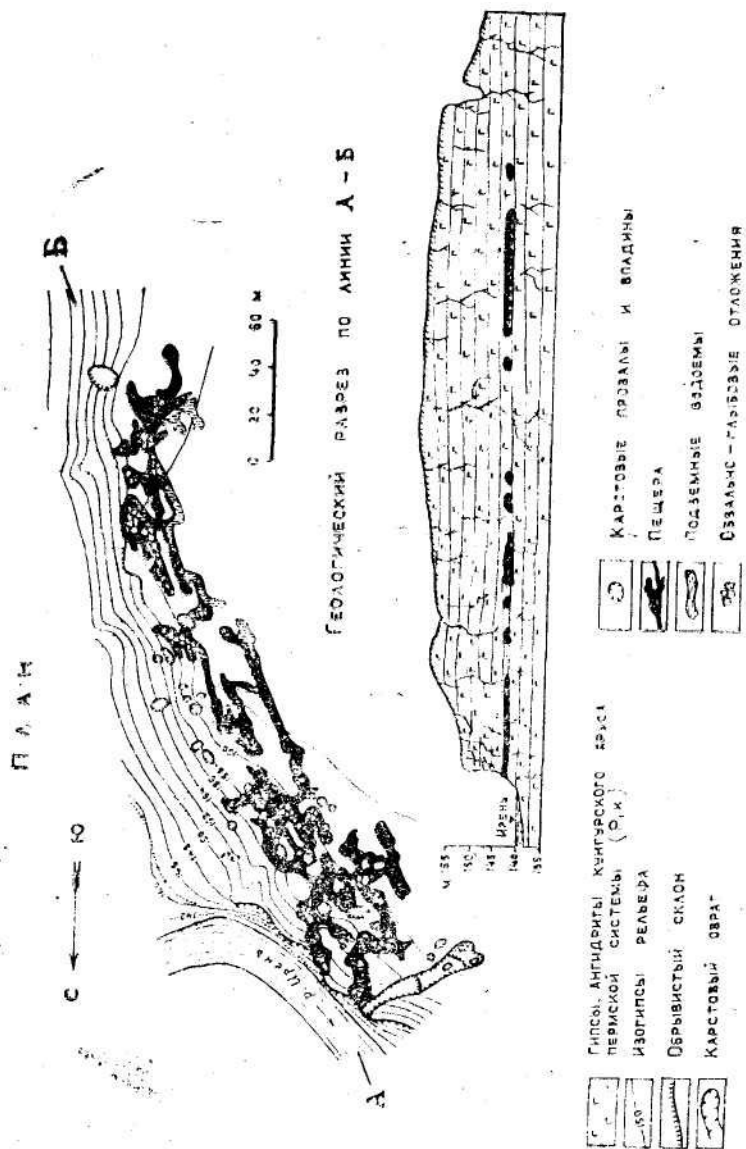


Рис. 33. Пещера Нижнемихайловская (по материалам съемки Чусовского отряда УКСЭ, 1974 г.)

В 1989 г. во время низкого стояния подземных вод через одну из галерей удалось проникнуть в неизученную обводненную часть пещеры, состоящую из сети прямолинейных ходов.

В сухом привходовом лабиринте преобладают галереи шириной 2—5 м и высотой 0,5—2,0 м, дно которых покрыто глиной, а в местах обрушения — глыбами гипса. Ходы средней и дальней частей узкие (1—3 м), их высота колеблется от 1 до 2 м с небольшими отклонениями в местах обрушения сводов. Привлекают внимание правильные пяти-шестиугольные поперечные сечения ходов с плоскими потолками [8]. Морфология пещеры отражает характер тектонической трещиноватости пород. Средняя и дальняя части пещеры теплые, а в привходовом лабиринте зимой образуются снежно-ледовые кристаллические и натечные формы.

Карст Иренского карстового района отличается высокой интенсивностью, большими плотностями карстовых форм, значительными коэффициентами поверхностной площадной и глубинной закарстованности, большой частотой провалов в ряде полей. Все это создает сложные инженерно-геологические условия.

### **Район карбонатного карста Уфимского плато**

Район приурочен к сводовой части Уфимского вала, выраженного в рельефе в виде плато, поверхность которого расчленена глубокими речными долинами и оврагами. Он простирается от междуречья Шаквы и широтного отрезка Сылвы на юг, до границы Пермской области (рис. 29).

Исследования карста осуществлялись на территории бывшего заповедника «Предуралье» [34, 35]. Гидрогеология и карст Уфимского вала освещены в ряде работ [128, 129, 153, 161, 162, 165, 169]. Карст попутно фиксировался при геологических [32] и инженерно-геологических изысканиях.

Геологические условия развития карста. Район занимает наиболее приподнятую сводовую часть Уфимского вала. Зона активного водообмена сложена карбонатными породами артинского яруса и филипповского горизонта кунгурского яруса. Артинский ярус в своей нижней части представлен иргинскими слоистыми, кремневыми известняками с богатой фауной. Выше они переходят в камайские кремневые известняки мощностью 40—80 м. Выход этих пород отмечен в основании склонов долины р. Кишертки, на 1 км выше

д. Низкое, на правом склоне р. Сылвы против горы Лопата. К востоку от Уфимского вала верхняя карбонатная часть артинского яруса замещается дивьинской свитой глинистых известняков, мергелей, глин. На иргинских известняках залегают саргинские рифы конусовидной формы мощностью до 100—150 м. Некоторые рифы достигают больших размеров, например, гора Кленовая имеет основание 1,5х1,5 км. Центральные части рифов сложены светло-серыми известняками, переполненными мшанками и брахиоподами. Часто встречаются членики криноидей, пелециподы и одиночные кораллы. По направлению к краям рифов фауна убывает, известняки становятся более глинистыми. Процессы доломитизации и выщелачивания местами изменили первоначальный облик саргинских рифов, особенно мелких массивов. Здесь почти вся фауна выщелочена, а оставшиеся после нее пустоты деформированы при перекристаллизации.

Наиболее молодыми являются сылвинские рифы как конусовидной, так и пластообразной формы. Они выходят по берегам р. Сылвы между селами Филипповка и Усть-Ки шерть, в обнажениях и карьерах у д. Межуево, по р. Кишертке выше д. Низкое, на левобережье р. Иргины севернее устья Большого лога. Во многих случаях породообразователем являются известковые водоросли.

Филипповский горизонт представлен доломитами, доломитизированными известняками, реже — известняками. Коренные породы покрыты элювиально-делювиальными, а в долинах рек — и аллювиальными отложениями. На крутых склонах долин и логов они обнажаются в виде скал и уступов. Местами сохранились неогеновые отложения.

**Гидрогеологические условия.** Трещиноватые и закарстованные известняки и доломиты артинского и нижней части кунгурского ярусов содержат трещинно-карстовые воды, залегающие на глубине 70—100 м [115]. Основным источником их питания являются атмосферные осадки, 60—70% которых выпадает в теплый период года, а также частично исчезающие реки. Очагами питания служат карстовые воронки, суходолы, поноры и трещины. Наличие трещинных зон и разрывных нарушений вызвало концентрацию подземного стока на отдельных участках. Карстовые воды образуют сложный бассейн со стоком к наиболее глубоким долинам. На севере дреной является долина р. Сылвы, где вытекают многочисленные нисходящие и восходящие источники. Южнее р. Сылвы преобладает

поперечный относительно оси Уфимского вала сток карстовых вод по падению пород на восток и запад, где они разгружаются в зонах литологических контактов или тектонических нарушений (рис. 34).

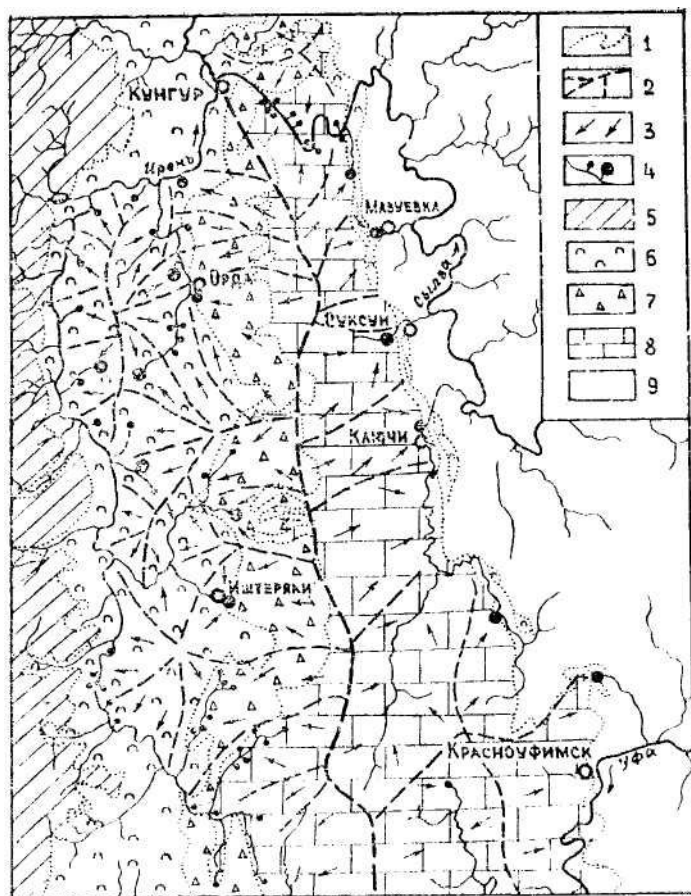


Рис 34 Схема подземного стока северной части Уфимского плато: 1 — границы геологических подразделений, 2 — гидрогеологические водоразделы, 3 — направление подземного стока 4 — источники, 5 — терригенные отложения уфимского яруса 6 — гипсы и ангидриты иренского горизонта, 7 — карстовая брекчия 8 — карбонатные отложения артинского яруса и нижнего кунгура, 9 — поповская и кошелевская свиты [153]

Виды разгрузки разнообразны: родниковая — в виде высокодебитных выходов карстовых вод типа воклюзов, субаквальная — в озера и русла рек, подземная — в контактирующие породы. Суммарные дебиты родников в очагах разгрузки достигают 500 л/с, как, например, р. Ключи в устье Суксунского суходола. В южной части района большая часть родников приурочена к локальным тектоническим поднятиям [128]. Частично гидрокарбонатные воды поступают в гипсово-ангидритовые отложения, что активизирует карстовые процессы на западном и восточном крыльях Уфимского вала. На отдельных участках следствием барражного эффекта плотных ангидритов является преобразование поперечного стока в продольный — вдоль простираения вала.

**Карстовые явления.** Карст относится к карбонатному задернованному и подэлювиальному. Типичными формами представляются суходола, карстовые овраги, воронки, реже — котловины, небольшие полости и пещеры.

А. В. Турышев приводит примеры исчезающих рек — Малого Телеса, Шуртана, верховьев Ординки. Малый Телес (Сухой Телес) начинается выше с. Алтынное в известняках и доломитах филипповского горизонта, через 3—4 километра река исчезает. Место исчезновения к концу лета передвигается вверх по долине. От него на 4—5 км тянется суходол. Затем подземный поток с дебитом 100 л/с снова выходит на поверхность.

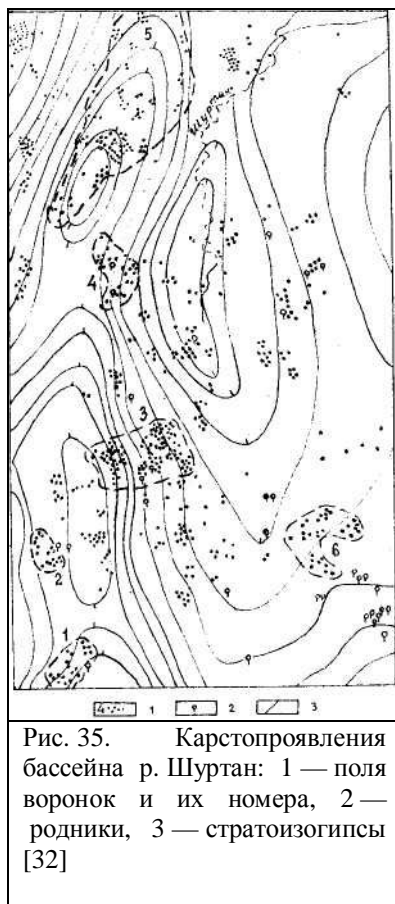
Река Шуртан начинается родниками у деревень Верх-Шуртан и Черный Ключ. Затем река теряется и на протяжении 6—7 км прослеживается сухая каньонообразная долина. Постоянный водоток появляется выше д. Шуртан. Суходол, названный на картах р. Кишерткой, протягивается от Низковской депрессии южнее с. Усть-Кишеть до деревень Куликово и Моргуново.

На участке Уфимского плато, примыкающем к р. Сылве от д. Межуево до с. Филипповка, произведена детальная геоморфологическая съемка [34, 35]. Поверхностные формы представлены воронками, блюдцами, карстовыми оврагами, суходолами. На площади 65 км<sup>2</sup> зарегистрировано 700 воронок. Среди них преобладают коррозионные конусообразные и блюдцеобразные формы. Средняя плотность их — 11 ф/км<sup>2</sup>, коэффициент площадной закарстованности — 0,07%. В скалах артинских известняков на высоте 50—70 м над р. Сылвой встречаются небольшие полости с плоским потолком.



В южной части плато по материалам аэрофотосъемки на площади около 1000 км<sup>2</sup> фиксировались карстовые родинки и воронки. Было изучено 5 полей (рис. 35): 1 — Чадское (с плотностью воронок 6,4); 2 — Сарсинское (12,7); 3 — Верх-Шуртанское (10,8); 4 — Порозовское (6,2); 5 — Кундарышское (3,1); 6 — Сарацинское (5,0 ф/км<sup>2</sup>). Показатели плотности воронок, вычисленные на основе данных аэрофотосъемки, занижены. Для сравнения приведем сведения о закарстованности Верх-Шуртанского карстового поля, полученные по материалам наземной съемки. В верховьях р. Шуртан на площади 10,2 км<sup>2</sup> описано 155 воронок, среди них преобладают конусообразные. Средняя плотность воронок 15 ф/км<sup>2</sup>. Коэффициент площадной закарстованности — 0,37%, объемной — 15 мм. Около 80% воронок имеют диаметр менее 15 м, глубина 56% воронок не превышает 2 м. Путем статистической обработки данных о глубине 826 воронок установлено, что глубина их на локальных поднятиях увеличивается [32].

На поверхности плато сохранились древние котловины, заполненные глинистыми отложениями неогенового возраста. От районов сульфатного карста Уфимское плато отличается меньшей интенсивностью карста и степенью закарстованности территории. Это подтверждают данные о химической денудации. В карбонатах Уфимского плато она в 9 раз ниже, чем в Кишертском карстовом районе [45]. Прослеживается четкая связь карста с зонами трещиноватости и разрывных нарушений, активными новейшими поднятиями.



**Пещеры.** В известняках артинского яруса и филипповского горизонта кунгурского яруса известно 17 пещер, большая часть которых имеет длину не более 10 м. В многочисленных рифовых останцах на склонах долины р. Сылвы на участке между с. Усть-Кишерть и г. Кунгур наблюдаются небольшие гроты.

**Кишертский район преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста**

Район простирается узкой полосой вдоль восточного склона Уфимского плато от междуречья Сылвы и Шаквы до южной границы Пермской области. Он занимает в основном левобережную часть бассейна среднего течения р. Сылвы которая на севере пересекает его в широтном направлении

В 1934—1935 гг. исследование карста осуществляла инженерно-геологическая группа под руководством И. М. Переслегина. Начиная с 1946 г. кафедра динамической геологии Пермского университета изучала геоморфологию и карст района с. Усть-Кишерть [42, 112]. Карст восточной части Уфимского плато описан в работах сотрудников Кунгурского стационара УрО АН [152—154].

В 1957—1959 гг. произведена карстово-гидрогеологическая съемка масштаба 1:10000 [57]. Ряд публикаций посвящен глубинному карсту

**Геологические условия развития карста.** Район расположен в узкой зоне сочленения Восточно-Европейской платформы и Предуральяского прогиба (рис. 36).

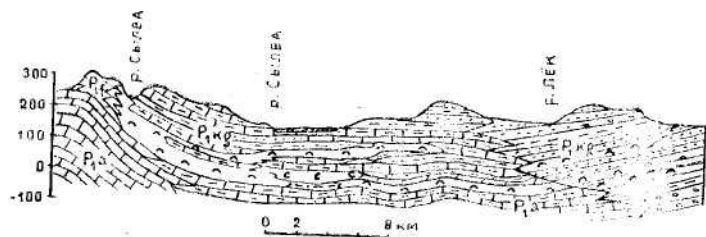


Рис. 36. Геологические условия карстообразования в Кишертском карстовом районе и Юрюзано-Сылвинской депрессии (по данным Сылвинской гидрогеологической партии)

Карбонатные отложения артинского и филипповского горизонта кунгурского ярусов на восточном крыле Уфимского вала, осложняющего восточную окраину платформы, погружаются в сторону прогиба и фациально замещаются соответственно дивьинской и лекской свитами глин, алевролитов, мергелей, глинистых известняков, ангидритов. Сылвинско-саргинские рифогенные постройки артинского яруса отпрепарированы в виде гор Кленовой и Грибушинской на правом берегу р. Сылвы севернее с. Усть-Кишерть, Ильинской в с. Ключи и др. По мере погружения карбонатные отложения перекрываются поповской свитой (иренский горизонт) кунгурского яруса, представленной мергелями, доломитизированными мергелями, глинами, глинистыми известняками и песчаниками с прослоями и линзами гипса и ангидрита. В основании ее прослеживается пачка ангидритов.

Гипсы и ангидриты поповской свиты выходят на поверхность у с. Посад-Кишерть и деревень Мазуевка, Бурцево, кроме того они вскрыты скважинами в с. Усть-Кишерть, с. Советная и деревне Дикое Озеро. Вдоль крыла Уфимского вала протягивается полоса карстовых брекчий, ширина которой местами достигает почти 2 км. Они состоят из угловатых обломков различных пород величиной от 1 см до 0,5 м и более, сцементированных карбонатным и карбонатно-глинистым материалом. Обломки представлены преимущественно доломитом, местами — с фауной брахиопод, известняком, иногда кремневым, реже — ангидритом, а восточнее р. Иргины — также песчаниками и глинами. Для карстовых брекчий характерно присутствие кремневой и кварцевой гальки. Карстовые брекчии наблюдаются в долине р. Советянки, по, правобережью р. Иргины, а также в керне скважин у с. Советная и с. Усть-Кишерть. мощность их местами достигает 45 м.

На водоразделах, местами в древних карстовых впадинах, встречаются неогеновые белые и цветные глины, кварцевые пески и галечники, реже — валуны и щебенка кремней, сливных галечников и кварцитов. Четвертичная система представлена аллювием в долинах рек, элювиально-делювиальными, пролювиальными и озерно-болотными осадками.

**Гидрогеологические условия.** Карстовый район является зоной разгрузки карстовых вод Уфимского вала. Водоносный горизонт карбонатных отложений разделяется здесь на концентрированные потоки, направленные к местам разгрузки вдоль наиболее трещиноватых и закарстованных зон, а также по контактам

разнородных пород. Потоки карстовых вод как бы огибают рифы, массивы гипсов и ангидритов, менее трещиноватые и малопроницаемые породы, причем сток не только поперечный, но и продольный относительно оси вала. Воды зон горизонтальной и сифонной циркуляции Уфимского вала разгружаются в виде нисходящих и восходящих источников, а также путем фильтрации в аллювий, карстовые брекчии, трещиноватые выветрелые сульфатные отложения. На контакте с сульфатными отложениями пресные гидрокарбонатно-кальциевые воды преобразуются в сульфатно-кальциевые воды с минерализацией до 2,6 г/л.

У д. Зуево в воронкообразном углублении вытекает сульфатный источник с расходом воды около 12 л/с, впадающий в р. Кишертку. Восходящие сульфатные источники известны на дне оз. Кислое. Источники на дне Низковской карстовой депрессии дают начало р. Кишертке с расходом воды 26 л/с. Карстовые воды частично фильтруются в рыхлые отложения, вызывая заболачивание. Подземные воды, разгружающиеся в депрессии, питаются атмосферными осадками, поглощаемыми воронками у д. Дремино, а также карстовыми водами из карбонатных отложений Уфимского плато.

На левобережье р. Сединки основными очагами питания карстовых вод являются поноры и воронки Бурцевской и Дреминской котловин. Отсюда подземный сток направлен на север, вдоль границы сульфатных отложений с карбонатными к Низковской депрессии, и частично—на восток, к р. Сединке. В долине р. Сединки вытекает четыре источника с дебитом от 0,5 до 2,0 л/с и минерализацией воды 1,1—1,6 г/л. По левому берегу р. Мазуевки многочисленные сульфатные источники увеличивают ее расход с 7 до 190 л/с.

Много восходящих и нисходящих источников по левому берегу р. Советянки в ее нижнем течении. У подножья горы Крутой, в склоне которой выходят карстовые брекчии, они имеют дебит от 2 до 54 л/с. Впадая в р. Советянку, источники увеличивают расход воды в ней с 16 до 257 л/с. Площадью их питания являются карстовые поля по левобережью р. Советянки. Четыре родника в долине р. Киселевки имеют дебит от тысячных долей до 2,3 л/с.

Сульфатные воды были вскрыты скважинами в долине р. Суксунчик в начале XX в. В настоящее время они представляют собой восходящие источники.

На правом берегу р. Иргины сульфатные источники вытекают на двух участках. Севернее горы-рифа в с. Ключи у подошвы уступа

сильно закарстованной террасы выходят 11 восходящих и нисходящих родников, питающих ручей с расходом 36 л/с. Южнее рифа у подножия уступа террасы возле с. Брехово вытекают 4 источника, дающих начало притоку р. Иргины, расход воды в котором достигает 320 л/с. Общий расход воды всех сульфатных источников Кишертского карстового района — более 800 л/с.

Трещинно-поровые пластовые воды терригенных отложений поповской свиты кунгурского яруса развиты в восточной части района. Водоносными являются трещиноватые мергели и песчаники. Дебиты родников, не более 5 л/с. Суммарная родниковая разгрузка карстовых вод как гидрокарбонатных, так и сульфатных в Кишертском карстовом районе составляет более 2500 л/с. Подобная разгрузка в зоне распространения гипсов и ангидритов является причиной высокой активности карстового процесса.

**Карстовые явления.** Преобладают закрытый и подаллювиальный типы карста. Формы его проявления разнообразны. Это воронки, поноры, котловины, карстовые депрессии с поперечником более 1 км, карстовые речки и озера. В районе обособляется несколько участков с различным характером проявления карста (табл. 6).

Междуречье Таза, Сылвы и Шаквы представляет собой возвышенное плато, осложненное карстовыми оврагами, воронками, котловинами и озерами. Поле воронок в окрестностях с. Посад-Кишерт площадью 0,5 км<sup>2</sup> включает более 100 форм. В с. Посад-Кишерт скважины пробуренные ВерхнекамТИСИзом на площадках строительства зданий, вскрыли карстовые полости, заполненные глиной и щебнем, высотой от 1,2 до 15,6 м и не заполненные ими высотой 0,7 м. Большая часть полостей образуется в результате растворения гипса, залегающего среди доломита и известняка в зоне горизонтальной циркуляции карстовых вод, расположенной ниже русла р. Сылвы.

На северо-запад от линии с. Посад-Кишерт — д. Пеньки через деревни Безукладное, Подпавлиново к д. Карнаухово на р. Шакве, где Кишертский карстовый район переходит в Нижнесылвинский, протягивается полоса воронок, карстовых озер и крупных котловин шириной более 2 км. На аэрофотоснимках насчитывается более 600 воронок, что значительно меньше реального их числа. Часть воронок заполнена водой. Обследовано 37 карстовых озер [56]. Наибольшие из них — длиной до 150 м и шириной до 110 м — расположены в деревнях Камышное, Безукладное, Удалово, Аниси мово, Климково.

Таблица 6

## Карстовые участки Кишертского карстового района [57]

Участок	Поле или элемент рельефа	Проявление карста
Междуречье Сылвы и Шаквы	Посадское и Подпавлиновское поля	Воронки и котловины (более 800), озера
Кишертский	Пойма и I терраса р. Сылвы	Воронки и озера (159)
	Территория с. Усть-Кишерт	Воронки (28), озера
	Низковская депрессия	Карстовые источники
Сединский	Правобережье долины р. Сединки	Воронки, котловины
	Дреминская депрессия	Озера, воронки, провал
	Бурцевская депрессия	Озера, воронки
Мазуевский	Озерная депрессия	Озера, воронки, котловины, провалы, пещеры, источники, карстовая речка
Дикоозерский	Озерная депрессия	Озера (8)
Суксунско-Советинский	Долина р. Советники	Воронки (156), источники, карстовая речка
	Долина р. Ключи	Источники
	Поле у д. Киселево	Воронки, котловины, озера, болота (43)
Ключевой	Долина р. Ирги	Источники
	Поля воронок на правобережье р. Иргины	Воронки, котловины (более 500)

Озеро в д. Безукладное имеет глубину 10 м. Одни котловины заболочены, другие — покрыты сплавиной. минерализация воды 70—275 мг/л.

Кишертский участок составляют I, II, III террасы р. Сылвы в левобережной части ее излучины и долина р. Кишертки. Наиболее изучена территория с. Усть-Кишерт. Карстующиеся гипсы и ангидриты залегают под аллювиальными и элювиальными отложениями, местами они перекрыты мергелями или доломитами. Кровля гипса на I и II террасах находится на 22—56 м ниже русла р. Сылвы. Интенсивный карст, провалообразование связаны с подтоком пресных вод со стороны Уфимского вала и движением их по наиболее нарушенным трещиноватым зонам или литологическим контактам [42, 51, 53, 57].

На Кишертском участке выделяется несколько карстовых полей. Поля воронок на пойме и I террасе р. Сылвы севернее с. Усть-Кишерт включают 152 воронки с поперечником обычно не более 15 м и глубиной до 5 м. К древним старицам приурочены три озера с поперечником 50—108 м и глубиной до 13 м. В окрестностях д. Пеньки на I террасе р. Сылвы вблизи коренного склона 28 марта 1956 г. возникло четыре провала.

Территорию с. Усть-Кишерт образуют II и частично I террасы, осложненные долиной р. Кишертки. Для нее характерны провальные озера (Молебное глубиной 19,5 м, Безымянное, Яма, Восьмерка, три Березнинских, Зуевское и Провал). Озеро Провал в момент возникновения 28 августа 1949 г. имело горизонтальные размеры 50,5X40,0 м, высоту стенок до воды 9 м и глубину 5,45 м. Реже встречаются блюдцеобразные заболоченные понижения (5 форм) и воронки (2). На III террасе южнее железной дороги на участке, сложенном загипсованными карбонатами, находится 12 воронок диаметром 7—25 м (одна — 45 м) и глубиной до 8 м.

Типично карстовой является р. Кишертка, начало которой дают восходящие источники на дне Низковской карстовой депрессии. Расход воды в устье реки в межень — около 60 л/с, в паводок он возрастает до 200 л/с. Вода имеет сульфатный состав и минерализацию 1,8—2,0 г/л. Правый склон долины р. Кишертки у д. Гарино сильно закарстован. На плоском заболоченном дне долины южнее железной дороги расположены 4 небольших озера, в одном из которых обнаружен понор глубиной 22 м.

Низковская депрессия имеет поперечник около 2 км. С запада и юга она ограничена крутыми склонами, а на севере — открывается в долину р. Сылвы. На восток дно депрессии несколько повышается и переходит в долину р. Сединки. С юго-запада в нее впадает крупный суходол. Дно депрессии плоское, местами заболоченное. На дне выходят восходящие сульфатные источники, вода которых имеет минерализацию 2,3 г/л, среди них наиболее крупный — с дебитом около 28 л/с. Часть карбонатов кальция выпадает из воды в русле Ручейков в виде известкового туфа. Известь отлагается на Растениях, сухих ветках, почве, старых пнях. На дне карстовой депрессии разгружаются карстовые воды, областью питания которых являются поле воронок у д. Дремино и Уфимское плато.

Справа в р. Кишертку впадает р. Сединка, расход которой в межень составляет около 20 л/с. В верховьях она питается родниками

из мергелей поповской свиты. Между д. Верх-Седа и с. Седа долина пересекает карстовую котловину, на дне которой выходят карстовые воды гидрокарбонатно-сульфатного и сульфатно-гидрокарбонатного состава с минерализацией до 1,6 г/л. Правый коренной склон долины севернее устья реки осложнен крупными воронками. В верховьях логов, впадающих в р. Сединку с запада, расположены две карстовые депрессии.

Дреминская депрессия в наиболее пониженной части занята озером с пресной водой. На западном и северном склонах встречаются воронки, озера, болота. В одной из воронок понор вскрывает гипсы. В 1946 г. в д. Дремино произошел провал. Атмосферные осадки, поглощаемые воронками, разгружаются в Низковской депрессии. Бурцевская озерная депрессия расположена между верховьями двух логов. Склоны ее покрыты многочисленными, преимущественно сухими воронками, а дно занято озерами и болотами с пресной водой.

Мазуевский участок включает карстовую р. Мазуевку и Мазуевскую озерную депрессию. Ниже места выхода карстовых родников расход реки увеличивается до 300 л/с, а минерализация — до 1,8 г/л. Дно депрессии занято озерами, в разной степени заболоченными. Одно из них — Карасье (120X 400 м) — покрыто сплавной. Глубина у края сплавной составляет 8 м.

Дикоозерский участок представляет карстовую депрессию, дно которой занято озерами с пресной водой. Озеро Дикое (400X 140 м) имеет глубину около 7 м. В озере д. Нижняя Одина (122X94 м) глубина 19 м приурочена к провалу, возникшему на дне озерной котловины в 1953 г. На дне депрессии встречаются также заболоченные блюдцеобразные понижения.

К Суксунско-Советинскому карстовому участку относятся долина реки Советянки с полями воронок и карстовыми родниками по ее левобережному склону, родники в устье суходола, дающие начало р. Ключи с расходом воды более 500 л/с, поле воронок у д. Киселево (рис. 37). На Ключевском участке долина р. Иргины является зоной разгрузки пресных гидрокарбонатных карстовых вод карбонатных отложений Уфимского вала и сульфатных вод поповской свиты, развитых по ее правобережью.



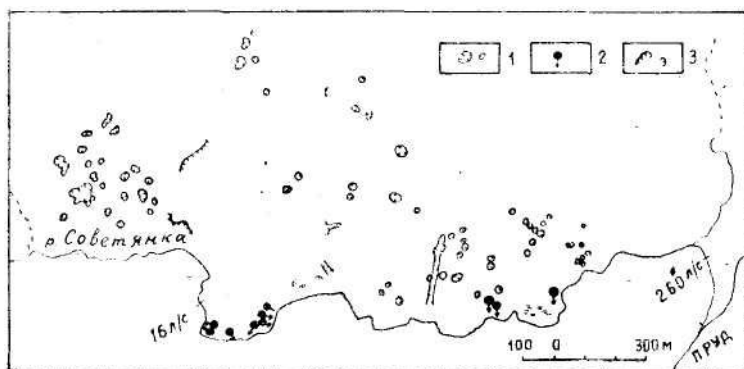


Рис. 37. Карстовые воронки и родники в долине р. Советянки: 1 — воронки, 2 — родники, 3 — обнажения

Карстовые воды из карбонатных отложений вытекают в виде нисходящих, плотинных у горы Ильинской и фильтрующихся через аллювий источников (рис. 38, I—V). Часть высокодебитных источников питается поддолинным потоком (VI у д. Усть-Лог и VII уд. Шипицыно). Сульфатный состав имеют источники, вытекающие у подножья за карстованной правобережной террасы р. Иргины (рис. 38, VIII, IX).

Суммарные дебиты родников следующие: I — 2,2 л/с II — 432; III — 94; IV — 36; V — 23; VI — более 31; VII — 54; VIII — 36; IX — 320. Разгрузка карстовых вод на площади 9 км<sup>2</sup> превышает 1000 л/с. Часть карстовых вод питает грунтовые воды и р. Иргину, расход воды в которой возрастает на 2800 л/с.

Карст правобережья р. Иргины связан с выщелачиванием гипсов и ангидритов поповской свиты. Ключевской участок насчитывает более

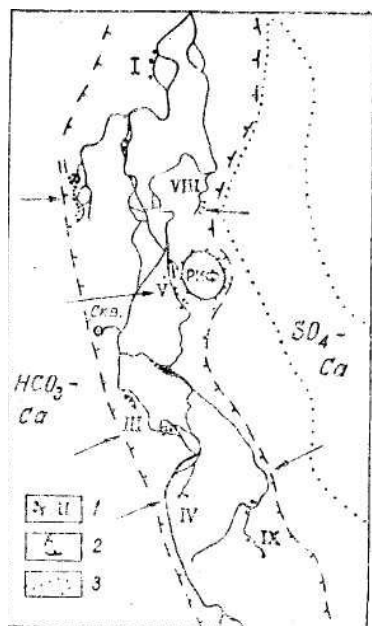


Рис. 38. Карстовые источники Ключевского участка: V — группы родников и их номера, 2 — подошва склона, 3 — граница полей воронок [43]

500 воронок, карстовых озер и блюдец (рис. 39).

Карстовое поле	Плотность, ф/км <sup>2</sup>	K <sub>с</sub> , %	K <sub>д</sub> , см
1	117	8,1	50,5
2	27	2,7	7,2
3	99	4,8	37,0
4	381	22,0	146

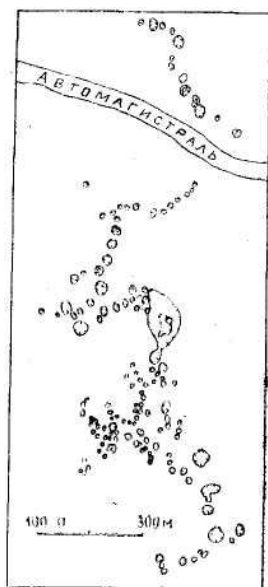


Рис. 39. Поле карстовых воронок восточнее д. Брехово [57]

Четвертое поле отличается наибольшей плотностью форм, высокими коэффициентами закарстованности, преобладанием конусообразных и чашеобразных воронок глубиной более 3 м. За 6 лет (1953—1958) здесь образовалось 5 провалов, что позволяет отнести данное поле к категории очень неустойчивых.

Е. А. Иконников и В. П. Костарев [77] отмечают значительную глубинную закарстованность поповской свиты. Закарстованность возрастает до глубины 125 м, затем несколько снижается, оставаясь до глубины 200 м примерно такой же, что и в верхней части разреза. Для Кишертского карстового района характерны большие размеры провалов, значительная частота их возникновения.

**Пещеры.** Из 7 пещер в гипсах и ангидритах, реже — доломитах, наибольшей является пещера Варсанофьевой (или Мазуевская, Бурцевская, Белый Камень, Волчья Яма) протяженностью 200 м (рис. 40). Она расположена в 12 км к югу от с. Усть-Кишерт в Мазуевской карстовой депрессии. Это реликтовая система полостей, образованных водами подземного ручья. Вход в нее находится в основании 30-метрового обрывистого борта провала Волчья Яма, диаметр которого 120 м, средняя глубина 45 м.

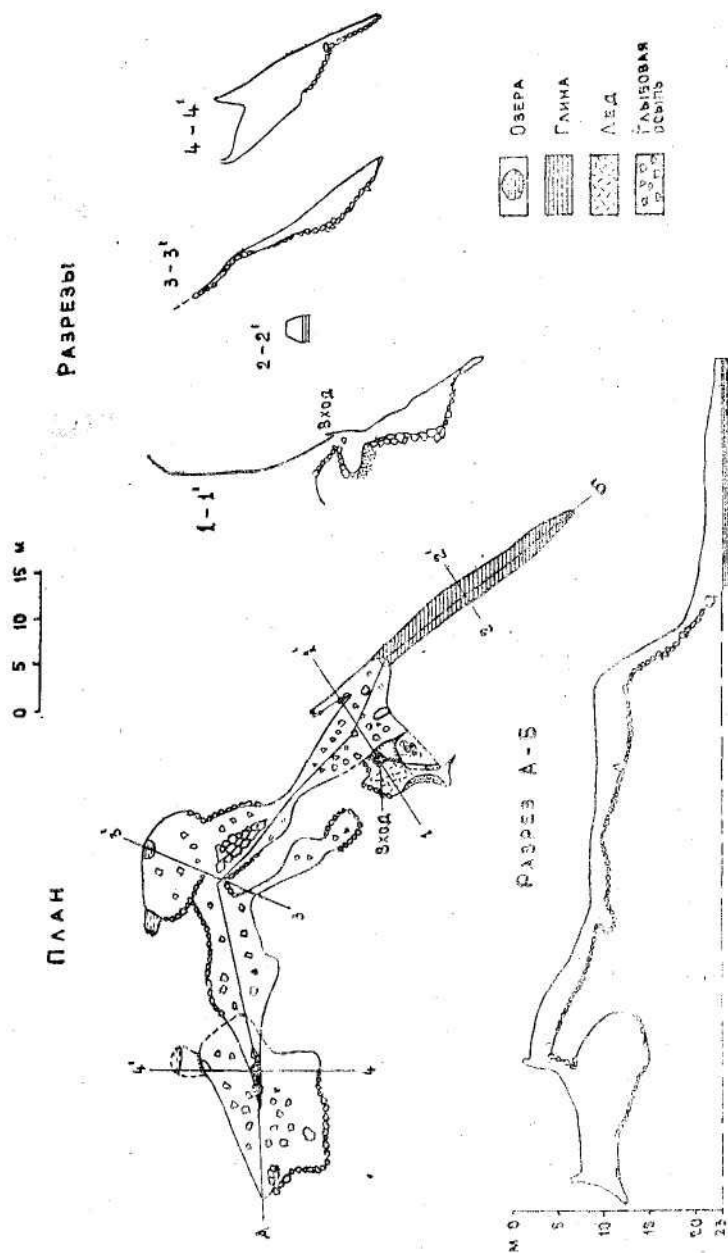


Рис. 40. Пещера В. А. Варсанюфьевой [99]

Пещера описана В. А. Варсанофьевой, П. Бесприютным, С. А. Тороповым, И. А. Лавровым [99]. Полости развиты на двух уровнях: верхние — между стенкой провала и массой обрушившихся пород, с ними соединяются нижние небольшие гроты, сформированные подземным ручьем. Вероятно, они являются ответвлениями большого грота, над которым произошел провал. Глубина пещеры от входного отверстия до заиленного днища одной из галерей составляет 23 м. После прокладки неподалеку газопровода полости активно заиливаются. Соседние пещеры уже полностью заполнены илистыми осадками.

Пещера Варсанофьевой вместе с расположенными вблизи нее карстовыми озерами, понорами, провалами, останцами гипсов является ландшафтным памятником природы «Урочище Белый Камень».

## **КАРСТОВЫЕ РАЙОНЫ ВЕРХНЕПЕЧОРСКОЙ ВПАДИНЫ И СОЛИКАМСКОЙ ДЕПРЕССИИ ПРЕДУРАЛЬСКОГО ПРОГИБА**

Предуральский прогиб включает три крупные структуры: Верхнепечорскую впадину, Соликамскую и Юрюзано-Сылвинскую депрессии, разделенные Ксенофонтово-Колвинской и Косьвинско-Чусовской седловинами. В первых двух структурах развиты мощные соленосные и гипсоносные формации иренского горизонта кунгурского яруса, залегающие под карбонатно-терригенными и терригенными породами соликамского и шешминского горизонтов уфимского яруса. Среди четвертичных представлены гляциальные, флювиогляциальные, элювиально-делювиальные, аллювиальные, озерно-болотные отложения. Преобладает соляной закрытый карст и гипсовый, преимущественно закрытый и фрагментами голый. Прослеживается связь карста с положительными средними и мелкими структурами.

### **Вишеркский район соляного и гипсового карста**

Район занимает южную часть Верхнепечорской впадины в бассейнах нижнего течения р. Колвы и ее притока — р. Вишерки (рис. 7). Представление о карсте дают немногочисленные литературные источники, материалы геологических и гидрогеологических съемок [159, 160].

**Геологические условия карстообразования.** Вишерский карстовый район приурочен к южному окончанию Верхнепечорской впадины. В районе пос. Фадино выявлено одноименное поднятие. Ряд куполовидных структур длиной 6—8 км обнаружен морфометрическими исследованиями. Наиболее древние терригенные отложения артинского яруса выходят на поверхность на границе со складчатой зоной Урала. В погруженной осевой части впадины развита мощная (более 350 м) толща гипсов, ангидритов, солей, переслаивающихся с доломитами, и загипсованных терригенных пород кунгурского яруса (рис. 41). Гипсы, ангидриты выходят на поверхность в долинах рек Колвы и Вишерки.

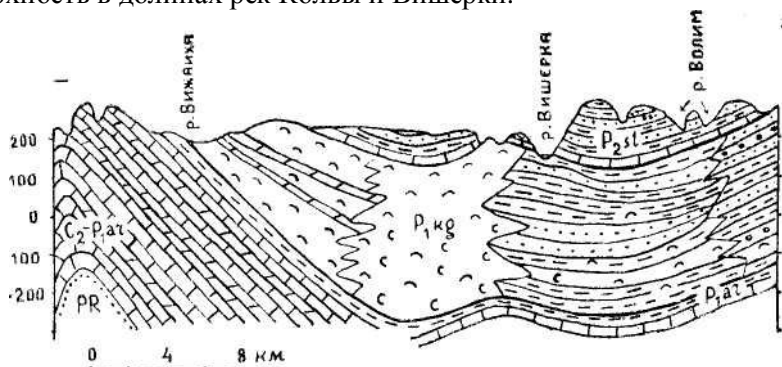


Рис. 41. Геологические условия карстообразования бассейна р. Вишерки (по данным Сылвинской гидрогеологической партии)

Вышележащая терригенная толща соликамского горизонта уфимского яруса имеет различную мощность в зависимости от рельефа. Она распространена в северной и северо-западной частях района. Покровные отложения представлены элювиально-делювиальными — на водоразделах, аллювиальными, флювиогляциальными — в долинах рек, гляциальными и озерно-болотными отложениями.

**Гидрогеологические условия.** Вишерский карстовый район относится к Верхнепечорской гидрогеологической области [169]. Здесь распространены грунтовые воды аллювиальных и флювиогляциальных отложений, соликамский и кунгурский терригенные водоносные комплексы, трещинно-карстовые воды галогенных пород кунгурского яруса. Засоленность и за гипсованность кунгурских и — в меньшей степени — соликамских

отложений определяют неглубокое залегание соленых вод. Долины рек Вишерки и Колвы на участке от района д. Петрецово до с. Кикус являются зонами разгрузки соленых и солоноватых вод хлоридного и хлоридно-сульфатного состава.

**Карстовые явления.** Карст относится к сульфатному типу в гипсах, ангидритах, загипсованных песчаниках и соляному — в соленосной толще кунгурского яруса. Преобладают подэлювиальный, подаллювиальный, подфлювиогляциальный и закрытый типы карста, местами встречается голый карст. Интенсивно сульфатный карст в виде полей крупных воронок проявляется на участках, где развиты песчано-глинистые отложения, включающие гипс. Обнажения гипса встречены на р. Заболотной на 6 км северо-восточнее с. Кикус и западнее линии надвига. На прилегающем водоразделе площадь около 8 км<sup>2</sup> почти сплошь покрыта воронками, многие из которых имеют диаметр 40—50 м, глубину 15—20 м. В некоторых воронках обнажаются песчаники. На наличие гипса указывают сульфатные источники. Выходы гипса известны у деревни Малый Кикус, пос. Фадино.

В долине р. Вишерки и окрестностях оз. Чусовогого развит соляной карст. Озеро Чусовское окружено обширной эрозионно-карстовой низиной, напоминающей карстовое поле. Эта низина длиной около 40, шириной 2—7 км расположена в долине р. Березовки и верховьях р. Вишерки. Чусовское озеро находится в наиболее узкой ее части, где ширина низины колеблется от 2 до 3,5 км. К северу и югу от озера низина расширяется до 4—7 км. Дно низины заболочено и осложнено большим количеством карстовых воронок и озер округлой формы провального и коррозионно-просадочного происхождения [159].

Долины рек, протекающих через низину, заболочены. Течение рек спокойное. Все это характерно для районов соляного карста. Вероятно, низина образовалась за счет выщелачивания солей и гипсов с дальнейшей просадкой пород кровли и эрозионного сноса. Выдвинутое предположение подтверждается расчетами С. М. Орлянкина [141]. Им установлено, что р. Вишерка, вытекающая из оз. Чусовского, ежегодно выносит в растворе более 100 тыс. т соли, что составляет около 50 тыс. м<sup>3</sup> в год. Для образования низины длиной в 40 км и шириной в 5 км при ее глубине 30 м потребуется 110 тыс. лет без учета эрозионного сноса.

Существенное влияние на развитие карста, по-видимому,

оказывает близкое расположение области питания подземных вод — Тимана, с его территории в отложения уфимского и кунгурского ярусов поступают слабоминерализованные воды, способные растворять в значительных количествах сульфатно-галогенные породы. Наличие солей увеличивает растворимость сульфатов в десятки раз. О растворении сульфатно-галогенных пород свидетельствует хлоридно-натриево-сульфатный состав воды источников, озер, рек и скважин. минерализация подземных вод и некоторых озер колеблется от 5 до 34 г/л. Воды оз. Чусовского, рек Вишерки и Еловки имеют минерализацию от 0,3 до 0,6 г/л, тем не менее в их составе существенную роль играют ионы хлора и натрия.

И. Н. Шестов и А. В. Шурубор [159] пришли к заключению, что оз. Чусовское образовалось в результате соляно-гипсового карста, что подтверждается залеганием солей, гипсов и ангидритов в зоне активного водообмена, близким расположением их к области питания подземных вод — Тиману, наличием обширной карстовой низины с многочисленными карстовыми озерами и воронками, преобладающим хлоридно-натриевым составом и значительной минерализацией (до 34 г/л) подземных и поверхностных вод.

### **Соликамский район преимущественно соляного карста**

Район простирается от нижнего течения р. Низьвы на юг, до междуречья Яйвы и Косьвы. С запада он ограничен меридиональными отрезками рек Колвы и Вишеры, а южнее — долиной р. Камы. Восточная граница на севере совпадает с границей складчатого Урала, южнее она прослеживается по правобережью р. Глухой Вильвы и долине р. Усолки. Данные о соляном карсте приводятся в ранних работах по геологической и гидрогеологической. Ему посвящены специальные исследования [4, 6—8, 10—16, 70, 82, 106].

**Геологические условия развития карста.** Район приурочен к Соликамской депрессии, осложненной средними и мелкими структурами. С соляными породами депрессии связано Верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей, открытое в 1925 г. под руководством П. И. Преображенского.

Соляные формации вытянуты с севера на юг на 200 км при ширине

полосы 50 км, площади 6,5 тыс. км<sup>2</sup>. Они относятся к филипповскому (ангидриты, карбонаты) и иренскому (ангидриты, соли) горизонтам кунгурского яруса нижней перми и нижней части соликамского горизонта (глины, мергели, соли) уфимского яруса верхней перми. На большей части соликамской депрессии распространен карбонатно-сульфатный тип разреза филипповского горизонта (известняки, доломиты, ангидриты). Иренский горизонт (березниковская свита) включает (снизу вверх) глинисто-ангидритовую толщу (150—300 м), подстилающую каменную соль (140—400), сильвинитовую (20), сильвинито-карналлитовую (60—70), покровную каменную (0—55) соли и переходную толщу. Общая мощность березниковской свиты 400—725 м. Залежь калийных солей имеет протяженность 136 км, ширину до 40 км, площадь 3,5 тыс. км<sup>2</sup>.

Вышележащий уфимский ярус представлен соликамским и шешминским горизонтами. Соликамский горизонт (200—210 м) состоит из соляно-мергельной (глины, мергели, гипсы, каменная соль) и терригенно-карбонатной (известняки, мергели с прослоями гипса, доломита, песчаника) толщ. Шешминский горизонт (250—300 м) фациально изменчив. Он включает чередующиеся аргиллиты, алевролиты, песчаники, конгломераты и известняки (рис. 42).

Локально встречаются палеогеновые (глины, кварцевые песчано-гравийные) и неогеновые (глины, пески, суглинки с прослоями торфа) отложения.

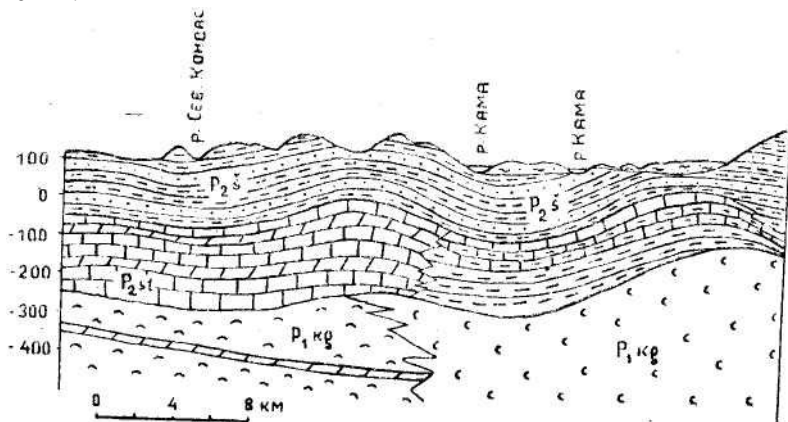


Рис. 42. Геологические условия карстообразования в западной части Соликамской депрессии (по данным Сылвинской гидрогеологической партии)



Повсеместно развиты четвертичные образования: элювиальные и делювиальные (суглинки и глины со щебнем), аллювиальные (галечники, пески, суглинки с торфом), гляциальные и флювиогляциальные (пески, суглинки, гравий, галька).

Соляная залежь представляет собой сложное геологическое тело. При относительно ровной подошве соляные отложения образуют пологие валовообразные структуры, осложненные куполовидными поднятиями, чередующимися с синклиналями. Амплитуда соляных структур изменяется от нескольких десятков до 400 м и более. Надсолевые отложения повторяют в сглаженном виде кровлю соляных структур (рис. 43). Некоторые структуры осложнены разрывными нарушениями.

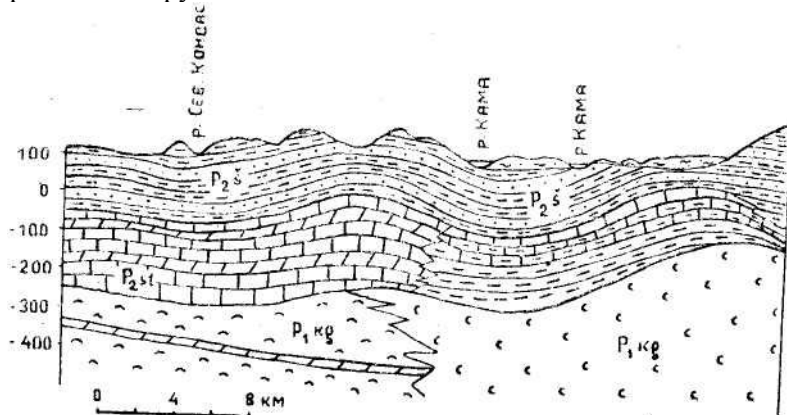


Рис. 43. Геологические условия карстообразования в восточной части Соликамской депрессии на границе со складчатым Уралом (по данным Сылвинской гидрогеологической партии)

Соляная толща отличается дисгармоничной складчатостью. В сводах ряда соляных структур на разных гипсометрических уровнях располагаются глинисто-гипсовые шляпы. Покрывающие соль породы, за исключением глинистых, сильно трещиноваты. В солях благодаря их пластичности трещины приобретают способность залечиваться. Несмотря на это, в них отмечены разрывные нарушения — как тектонические, так и техногенные.

**Гидрогеологические условия.** Соляная залежь играет роль водоупора, разделяющего надсолевые и подсолевые воды. Воды подсолевого комплекса представляют собой высокоминерализованные рассолы. Надсолевые воды относятся как к пресным, так и к минерализованным.

Надсолевая толща содержит несколько водоносных комплексов. Четвертичный водоносный комплекс приурочен к аллювиальным,

озерным, флювиогляциальным, элювиально-делювиальным отложениям. Это ненапорные грунтовые воды. На водоразделах и в долинах притоков Камы к востоку от меридиана г. Березники распространены гидрокарбонатно-кальциевые воды с минерализацией около 0,2 г/л. В долине р. Камы в устьевых частях долин р. Зырянки и других рек минерализация повышается в результате проникновения в аллювий высокоминерализованных хлоридных вод из нижележащих водоносных горизонтов.

Шешминский водоносный комплекс включает две водоносные толщи: пестроцветную и известняково-песчаниковую. Ненапорные и слабонапорные трещинно-грунтовые и трещинно-пластовые воды пестроцветной толщи имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав и минерализацию около 0,2 г/л. Слабонапорные трещинно-грунтовые и трещинно-пластовые воды известняково-песчаниковой толщи относятся к гидрокарбонатно-кальциевым с минерализацией 0,2—0,5 г/л. В долине р. Камы воды шешминских отложений засолены.

Соликамский водоносный комплекс включает две водоносные толщи: известняково-мергельную и глинисто-мергельную. Первая (плитняковый горизонт) наиболее водообильна и содержит трещинно-грунтовые и трещинно-пластовые напорные воды. Преобладают дебиты источников не более 10 л/с. Вода имеет гидрокарбонатно-кальциевый состав с минерализацией 0,2—0,5 г/л. На небольшой глубине в местах пересечения тектонических валов долинами рек Камы, Усолки, Боровицы, Яйвы появляются солоноватые и соленые воды сульфатного и хлоридного состава. Нижняя глинисто-мергельная толща характеризуется неоднородной, меньшей по сравнению с верхней толщей водообильностью, повышенной минерализацией и сульфатным составом воды. В случае проникновения в нее рассолов из нижележащих толщ состав воды меняется на хлоридный, а минерализация возрастает до 70 г/л. Такие воды встречаются в районе г. Березники.

Водообильность соликамского комплекса увеличивается в тектонически нарушенных зонах, например, в месте пересечения Березниковского вала долинами рек. К подобной зоне в долине р. Боровицы при пересечении ею Игумского вала приурочены высокодебитные источники. Соленые источники на меридиональном отрезке долины, р. Глухой Вильвы также связаны с подъемом напорных вод по разломам, обусловленным формированием структур Игумского вала.

Иренский (березниковский) водоносный комплекс переходной

толщи характеризуется наличием рассолов хлоридно-натриевого состава с минерализацией до 200 г/л и более, образующихся за счет выщелачивания каменной соли. Напор их достигает 120—150 м. Переходная толща на отдельных участках почти безводна.

**Карстовые явления.** Соликамский карстовый район отличается от остальных районов своеобразием условий карстообразования и типов карста. Здесь развит соляной, сульфатно-соляной карст. Карстующиеся породы залегают под толщей некарстующихся коренных пород и четвертичных отложений. Отмечается активизация карста под влиянием инженерно-технической деятельности человека.

Г. В. Бельтюков [13] выделяет здесь несколько типов карста: природный, или естественный, возникший благодаря наличию основных условий развития карста; антропогенный, или искусственный, вызванный инженерно-хозяйственной деятельностью человека; смешанный, развивающийся под влиянием одного или двух искусственных условий карстообразования (табл. 7).

Современный карст обусловлен выщелачиванием соленосной толщи (как каменной соли, так и верхних пластов калийно-магниевого солей), подземными водами под воздействием естественных и искусственных факторов [12], в результате которого образуются хлоридно-натриевые надсолевые карстовые рассолы в основном на восточной окраине месторождения.

Об интенсивности карста в солях можно судить по химическому составу карстовых и речных вод. Смешанный тип соляного карста проявляется при проходке и эксплуатации шахтных стволов и скважин, на участках старых рассольных скважин, в районах групповых водозаборов под влиянием интенсивного водоотбора, в отработанных горных выработках и соляных отвалах на поверхности шахтных полей.

При проходке и эксплуатации шахтных стволов наблюдались водопроявления несмотря на изоляцию контакта водосодержащих и соляных пород. Основной причиной притока вод в шахтные стволы является наличие трещин в соляных породах зоны обводненного контакта, а в отдельных случаях — и карстовых полостей. Объемы сформировавшихся карстовых полостей в покровной каменной соли и карналито-вой породе в отдельных случаях достигали нескольких сотен кубометров.

На территории Березниковско-Соликамского района с 1430 г. функционировало почти полтора десятка крупных пунктов рассолодобычи, которые насчитывали более 200 скважин.

Таблица 7

Типы карста Верхнекамского соленосного бассейна по  
Г. В. Бельтюкову [13]

Время проявления	Тип	Место проявления	Формы, образующиеся при растворении солей
Погребенный (палеокарст)	Природный (естественный)	Восточный склон выщелачивания, структурные поднятия	Мульды оседания, карстовые озера, карстовые полости
Современный	Природный (естественный)	Соляное зеркало	Расширенные водопроводящие трещины на контакте солей и других пород
	Антропогенный (искусственный)	Скважины выщелачивания	Камеры выщелачивания
	Смешанный (переходный)	Шахтные стволы, геологоразведочные скважины, древние рассолоподъемные скважины	Карстовые полости на контакте солей и покрывающих пород, а также в каменной и калийной солях

Часть скважин уцелела до настоящего времени. Растворению солей в процессе рассолодобычи способствовали интенсивная откачка рассолов, вскрытие скважинами соляных пород и ненасыщенность рассолов хлористым натрием.

С 1972 г. в долине р. Усолки эксплуатируется водозабор с целью питьевого водоснабжения г. Березники. Мощность известняково-мергельной толщи верхней перми, содержащей пресные воды, достигает 80 м. В результате интенсивного водоотбора площадь заболоченных участков сократилась, исчезла часть родников, появились участки поглощения стока р. Усолки. С 1985 г. отмечается увеличение степени минерализации воды с глубиной, особенно в скважинах нижней части водозаборного ряда, что указывает на интенсификацию процессов выщелачивания солей.

В отработанных горных выработках почти повсеместно встречаются конденсационные растворы в виде небольших водоемов или капежа с кровли. Влага, поступающая с воздухом в рудник, является слабоминерализованной и обладает высокой агрессивностью по отношению к солям. При непрерывном поступлении конденсационные воды могут растворять значительные массы солей. Они наиболее агрессивны по отношению к карналлитовой породе. При выщелачивании карналлита освобождается кристаллизационная вода, отчего количество рассола в выработке увеличивается.

Соляные отходы калийных предприятий занимают площадь более 700 га. Ежегодно они увеличиваются на несколько десятков миллионов тонн. В. Н. Андрейчук и др. [4, 7] описывают в них карры, поноры, колодцы, провалы, пещеры.

Современный и древний соляной карст проявляется на поверхности при образовании мутьд проседания, расширенных участков долин с большой мощностью аллювиальных, аллювиально-озерных и, местами, флювиогляциальных отложений, озерных котловин. По данным Е. П. Дорофеева и В. С. Лукина [70], в северной части Соликамской впадины у поселков Кузнецове, Губдор, Немзя расположены понижения с поперечником до 15 км, имеющие плоские заболоченные днища. По ним проложили свои русла реки Вишера, Колывна, Глухая Вильва (рис. 44, 45). Среди болот встречаются многочисленные мелководные озера, наиболее крупные из которых — Нюхти (площадь 5,5 км<sup>2</sup>) и Дикое (1,5 км<sup>2</sup>). Возвышенности, разделяющие эти понижения, поднимаются над их днищами на 50—70 м. мощность песчано-гравийных и галечниковых отложений в мутьдах достигает 60 м, а на возвышенностях — редко превышает 4 м.

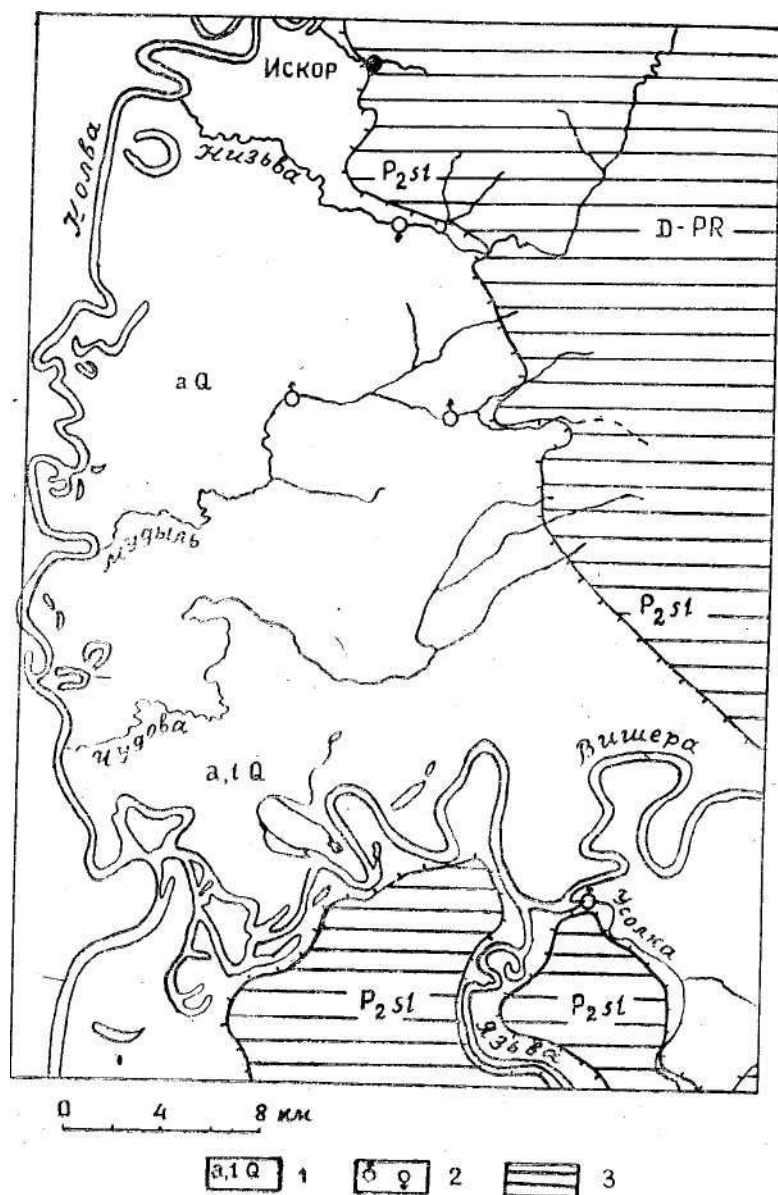


Рис. 44. Озеровидные расширения в долинах рек Колвы и Вишеры: 1 — речные и озерные отложения, 2 — восходящие и нисходящие родники, 3 — коренные породы

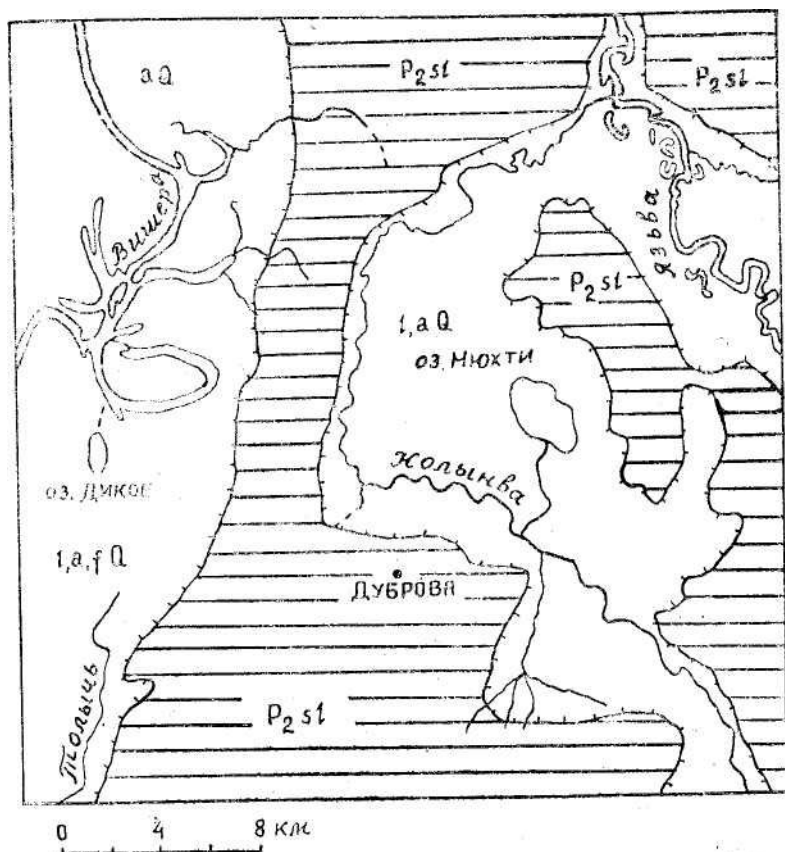


Рис. 45. Мульда оседания в долине р. Колывы

Мульды оседания расположены над антиклинальными складками, как бы срезанными в результате растворения солей. При этом оказались выщелоченными покровная каменная соль, карналлиты, сильвиниты и часть подстилающей соли. Вышележащие песчаниково-мергельные породы в результате неравномерного оседания приобретают повышенную трещиноватость и водообильность. Возвышенностям соответствуют синклиналиные прогибы, где растворению подверглась лишь покровная соль. Северная часть Соликамской впадины испытала в неогене и четвертичном периоде вертикальные движения значительной амплитуды. Соответственно карст в солях охватил здесь не только поднятия, как в средней и южной частях Верхнекамского месторождения, но и синклиналиные

прогибы. В результате растворения каменной и калпйно-магние-вых солей вдоль антиклиналей образовались обширные мульды оседания. Аналогичные мульды в средней и южной частях Верхнекамского месторождения имеют меньшие размеры и отмечаются лишь на верхушках поднятий.

Согласно В. И. Копнину [82], по мере растворения солей, содержащих менее 5% нерастворимых компонентов, перекрывающие их породы проседают и на их поверхности образуются понижения. На своде Потымковской брахиантиклинали мульда оседания имеет глубину около 40 м, причем наполовину она выполнена четвертичными песками и глинами. Такая же величина оседания установлена в сводах Чувашевской брахиантиклинали и Хорюшинского поднятия. Форма и размеры мульд зависят как от размеров брахиантиклиналей и скорости их поднятия, так и от ориентировки гидрографической сети относительно тектонических структур.

К мульдам оседания приурочены поверхностные водотоки. При совпадении их ориентировки с длинной осью поднятия формируются корытообразные понижения с довольно ровным и пологим дном. В кровле соляных отложений наблюдается желобообразное понижение, равное длине мульды. На участках, где водоток пересекает брахиантиклиналь, образуются мульды округлой формы, а в кровле соли фиксируется близкое к горизонтальному соляное зеркало.

Глубина распространения соляного карста зависит также от состава карстующихся пород. При совместном растворении двух и более солей ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$  и  $\text{MgCl}_2$ ) помимо температуры и давления решающее значение имеет уменьшение растворимости соли в присутствии другой соли, содержащей общий ион с первой. При повышении в растворе содержания  $\text{MgCl}_2$  концентрация  $\text{KCl}$  и  $\text{NaCl}$  резко снижается.

В южной части Соликамской депрессии в большинстве случаев соляной карст проявляется только до кровли нижней продуктивной пачки. Указанный горизонт в Чувашевской, Потымковской и Хорюшинской структурах вскрыт на разных отметках и, соответственно, соляное зеркало расположено на различных высотах. Это, видимо, связано с тем, что верхняя продуктивная пачка сложена более растворимыми породами по сравнению с нижней. В результате ее растворения агрессивность раствора и интенсивность процесса растворения сильвинитовой породы снижаются. Вблизи соляного



зеркала образуются вторичные сильвиниты по карналлитовой породе. Они вскрыты в зонах карста в Хорюшинской и Чувашевской структурах. Таким образом, уменьшение агрессивности раствора по мере накопления в нем солей определяет глубину выщелачивания соляной толщи.

Карст в Верхнекамском месторождении сопровождается образованием на соляном зеркале глинисто-гипсовых шляп мощностью до 3 м. Выщелачивание солей, активизированное техногенной деятельностью, может привести к катастрофическим последствиям. Примером является Березниковский провал, возникший в июле 1986 г. [6].

При хозяйственном освоении площадей развития соляного карста необходимо учитывать возможность его активизации под влиянием техногенных воздействий.

## **КАРСТОВЫЕ РАЙОНЫ ЮРЮЗАНО-СЫЛВИНСКОЙ ДЕПРЕССИИ ПРЕДУРАЛЬСКОГО ПРОГИБА**

**Геологические условия развития карста.** На территории Пермской области находится северная часть депрессии. Карбонатные отложения артинского яруса и филипповского горизонта кунгурского яруса, слагающие сводовую часть Уфимского вала, погружаются в сторону Предуральского прогиба, фациально замещаясь карбонатно-терригенными и терригенными породами. По мере погружения на восточном крыле вала они перекрываются кунгурским ярусом — поповской свитой доломитов, глинистых известняков, мергелей, алевролитов, глин, ангидритов и гипсов с линзами каменной соли, прослоями песчаников, которая в осевой части Юрюзано-Сылвинской депрессии фациально переходит в кошелевскую свиту. Она сложена песчаниками, содержащими местами линзы конгломератов, глинами, ангидритами с линзами каменной соли и пропластками известняков и мергелей (рис. 36).

На восточном борту прогиба на поверхность выходит лекская свита (филипповский горизонт кунгурского яруса), сложенная в основании пачкой ангидрита, выше — песчаниками, местами — с линзами конгломерата, алевролитами, аргиллитами, мергелем. Еще восточнее распространены преимущественно терригенные породы артинского яруса (рис. 46). Четвертичные элювиально-делювиальные, аллювиальные, озерно-болотные отложения развиты повсеместно,

неогеновые же сохранились фрагментами. Депрессия осложнена средними и мелкими структурами, наиболее крупной из которых является Тулумбасско-Тисовский вал.

**Гидрогеологические условия.** К зоне активного водообмена приурочены грунтовые воды аллювиальных и элювиально-делювиальных отложений, трещинно-грунтовые, трещинно-пластовые и карстовые воды кунгурского терригенного комплекса. Водоносны песчаники, мергели, известняки, линзы гипса, конгломератов, конгломерато-брекчий. Водоупорами являются глины, местами нетрещиноватые песчаники [33]. Водообильность определяется степенью трещиноватости пород и закарстованности содержащихся в них линз гипса. Крупные родники (до 50 л/с) приурочены к контакту мергелей с известняками и гипсами. Наибольшие дебиты, более 100 л/с, имеют источники из конгломератов и конгломерато-брекчий (в с. Быково, д. Копорушки и др.). Отмечается приуроченность водообильных пород к трещиноватым зонам, связанным с формированием соляных структур, например, Тулумбасско-Тисовского вала. По этим зонам происходит подъем солоноватых и соленых вод из нижних горизонтов, содержащих гипс и соль.

Карстовые воды формируются в трещиноватых гипсах или на контакте гипсов и солей с некарстующимися породами. Химический состав подземных вод изменяется от пресных (0,5 г/л) гидрокарбонатно-кальциевых до солоноватых сульфатно-кальциевых (до 3 г/л) в местах развития гипсов и соленых хлоридно-натриевых при наличии в разрезе солей.

**Карстовые явления.** Территория Юрюзано-Сылвинской депрессии закарстована неравномерно. Наиболее интенсивно карст проявляется в сводах и на крыльях Тулумбасско-Тисовского вала, в местах выхода на поверхность или неглубокого залегания моноклинальных пластов гипса и на гипсовых останцах. Преобладает закрытый тип гипсового и соляного карста, но встречается также подэлювиальный, задернованный и, в меньшей степени, голый гипсовый, а также кластокарст конгломератов, конгломерато-брекчий на известковом [163, 171] и песчаников — на известковом и известково-гипсовом цементе [79].

Карст района изучался в связи с геологическими и гидрогеологическими исследованиями [75, 76, 78, 79, 163, 164, 171]. Ему посвящены специальные работы [2, 83, 119, 175]. На территории Юрюзано-Сылвинской депрессии намечается несколько карстовых районов и участков [41, 113, 119].

## **Осинцевский район закрытого соляного и гипсового карста**

Район приурочен к своду Тулумбасско-Тисовского вала, который отличается повышенным положением подошвы кунгурского яруса (рис. 11, 29). В зонах повышенной трещиноватости карстуются линзы гипса и соли, залегающие среди некарстующихся отложений. Карстовые воронки, провалы, котловины прослеживаются почти сплошной полосой от д. Асово на юг через деревни Плотникове, Осинцево, Иванково, Тис. Плотниковско-Сосновская и Осинцевская болотистые депрессии имеют диаметр 5—7 км. Воронки местами заполнены водой и превратились в озера. В долинах рек вытекают солоноватые источники. Разгрузка соленых хлоридных вод активизирует карст гипсов.

## **Ачитский район гипсового карста и кластокарста**

Южнее Осинцевского карстового района, в основном за пределами Пермской области, расположен Ачитский район закрытого гипсового карста и кластокарста [162]. Склоны долины р. Сыры, по берегам которой обнажаются конгломераты с известковым цементом, покрыты задернованными сухими воронками. Родники, вытекающие на юго-восточной окраине д. Копорушки в долине р. Сыры, имеют дебит 17 и 60 л/с, а источник в д. Быково — около 180 л/с.

## **Кордонский район преимущественно закрытого гипсового карста**

Район расположен в бассейне р. молебки вблизи пос. Кордон (рис. 29). Породы залегают моноклинально (угол падения 1—3°). Ангидриты мощностью 20 м вскрыты скважиной у д. Лек на глубине 130 м под песчано-глинистыми породами. В окрестностях пос. Кордон они залегают вблизи поверхности.

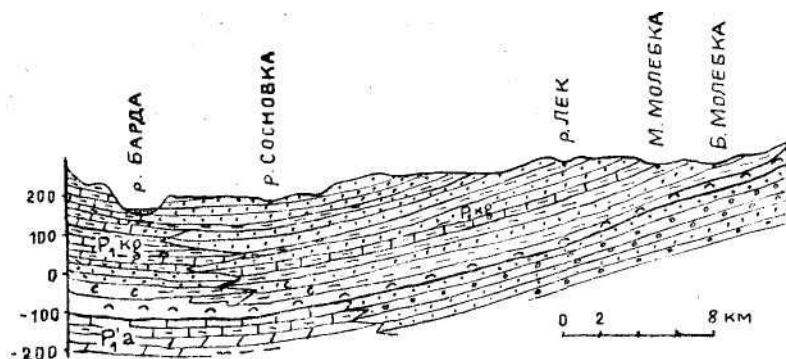


Рис. 46. Геологические условия карстообразования в Юрюзано-Сылвинской депрессии (по данным Сылвинской гидрогеологической партии)

Западнее поселка карстовые воронки, преимущественно конусообразные с поперечником до 50 м и глубиной до 15 м, образуют сплошную полосу. В наиболее крупных из них обнажается гипс. По сведениям местных жителей, в 1900 г. возник провал [38].

### Карстовые участки

Севернее Осинцевского и Кордонского карстовых районов карстсоявления не имеют сплошного развития. Здесь намечается несколько карстовых участков: 1 — междуречье Барды и Таза, 2 — верховья р. Асовки (рис. 11), 3 — бассейн р. Барды в окрестностях пос. матнеено, 4 — Опокинский, 5 — окрестности г. Чусового (рис. 55).

На восточном борту Предуральяского прогиба расположены гипсовые останцы высотой не более 120 м, являющиеся месторождениями гипса: Селишнинское, Чернореченское, Опокинское, Чусовское, Любимовское. Они приурочены к ангидритовой пачке лекской свиты (филипповский горизонт кунгурского яруса).

**Пещеры.** Подземные карстовые формы представлены полостями, закарстованными трещинами, пещерами в гипсовых останцах. На Опокинском карстовом участке описаны три пещеры: пещера-ниша, Малая Опокинская и Большая Опокинская [2]. Большая Опокинская пещера расположена в гипсовой горе Опоке на правом берегу р. Вильвы в 15 км к северу от г. Чусового.

Она обнаружена в 1956 г. геологами Пермского филиала института Гипротранскарьер при разведке Опокинского месторождения гипса. Пещера представляет собой подземное русло р. Опоки, исчезающей при входе в зону развития гипсов (рис. 47). В месте поглощения реки проникнуть в подземные ходы невозможно.

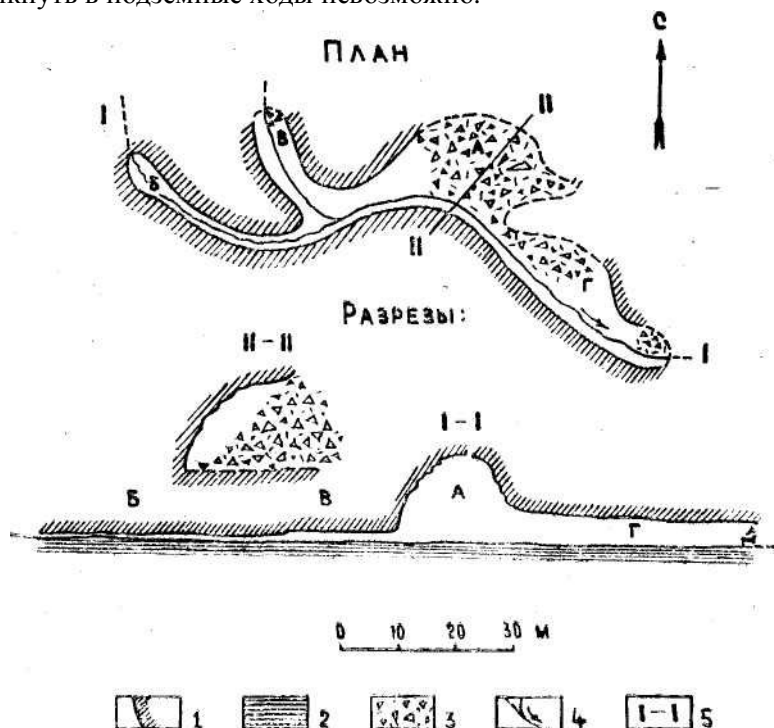


Рис. 47. Пещера Большая Опожинская: 1— стены, сложенные гипсом; 2 — аргиллит, 3 — глыбовые отложения, 4 — водоток, 5 — линии разреза [2]

Вход в нее расположен на склоне карстовой котловины в 70 м к юго-востоку от места поглощения и на 15 м выше дна котловины. Узкое отверстие над глыбово-землистой осыпью ведет в грот (длина 20 м, высота 15 м), по дну которого течет река. Вниз и вверх по течению от центрального грота тянется галерея с плоским потолком, по направлению вверх она раздваивается. Основной тоннель, по которому течет большая часть воды, имеет длину 41 м, ширину 2—3 м, высоту 0,5 м. Галерея, уходящая вниз по течению, характеризуется более крупными размерами и заканчивается завалом.

В центральной части и на восточном борту Юрюзано-Сылвинской

депрессии глубина развития карста контролируется литологией и тектоникой. Несмотря на незначительную поверхностную закарстованность, возможно возникновение провальных форм в результате растворения гипсов, залегающих среди терригенных пород.

## **КАРСТОВЫЕ РАЙОНЫ ЗАПАДНО-УРАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ЗОНЫ**

### **Геолого-гидрогеологические условия развития карста.**

Урал принадлежит к обширному поясу палеозойской складчатости. Для него характерны линейные складчатые системы с выдержанным меридиональным простиранием основных структурных элементов. Литолого-стратиграфические условия отличаются постоянством по простиранию складчатых систем и изменчивостью в широтном направлении. Крупные антиклинальные и синклинальные складки осложнены надвигами и взбросами обычно меридионального простирания (рис. 48, 49).

Во внешней складчатой зоне Урала закарстованы карбонатные породы (известняки, доломиты, доломитизированные известняки) от среднего девона до нижней перми, в меньшей степени — более древние, общей мощностью превышающие 2000 м. Некарстующиеся водоупорные терригенные отложения (глинистые сланцы, аргиллиты, алевролиты, мергели, песчаники, местами — с прослоями угля) представлены пачкой нижней части московского яруса среднего карбона, угленосной свитой в основании визейского яруса нижнего карбона и такатинской свитой среднего девона. Эти водоупоры делят палеозойский карбонатный комплекс на три карбонатные обводненные толщи [33].

Верхняя карбонатная обводненная толща охватывает отложения верхнего карбона — артинского яруса нижней Перми. Водоупором являются карбонатные породы нижней части московского яруса (средний карбон).

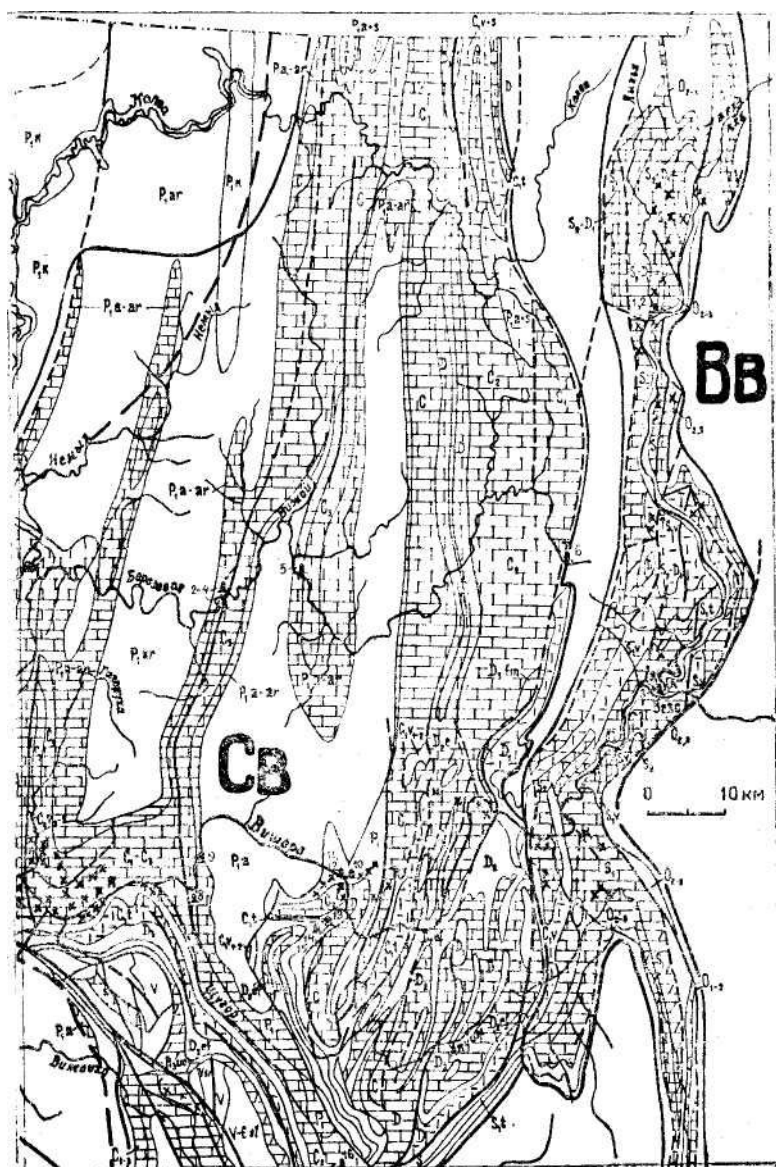


Рис. 48. Средневишерский (Св) и Верхневишерский (Вв) карстовые районы

В бассейне р. Чусовой развита только нижняя часть водоносной толщи, представленная известняками среднего и верхнего карбона; нижнепермские карбонатные образования замещаются терригенными.

Водовмещающими породами верхней карбонатной толщи являются известняки, доломиты и доломитизированные известняки, довольно сильно закарстованные. Наиболее водообильны трещиноватые закарстованные линейно вытянутые зоны. Карстовые воды образуют, как правило, единый водоносный горизонт, залегающий на глубине от 0 до 120 м. На междуречьях уровень карстовых вод часто находится ниже русел притоков главных рек, что создает условия для поглощения поверхностного стока и образования суходолов, таких как Ниж. Мальцевка, Опаленная, Сухая Абля, Сухой Кизел и др. Разгружаются подземные воды нередко в устьях суходолов, на контакте карстующихся пород с менее карстующимися.

Активные карстовые процессы сопровождаются исчезновением и более крупных рек в карстовых полостях (Молмыс, Ульвич, Бол. Кумыш). Подземные водотоки вновь появляются на поверхности в виде мощных родников с расходом до  $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$  (родник у пос. Вынырок).

Средняя карбонатная обводненная толща включает известняки, доломиты, доломитизированные известняки визейского-башкирского ярусов нижнего и среднего карбона. Водоупорной подошвой служат угленосные отложения нижнего карбона, а кровлей — глинисто-карбонатная пачка московского яруса. Водоносность толщи неравномерна. Она зависит от условий ее залегания, степени трещиноватости и закарстованности. В ядрах и крыльях антиклиналей породы выведены на поверхность, что способствует их закарстовыванию. В синклиналиях, где они покрыты глинисто-карбонатной пачкой, интенсивность водообмена и развития карста снижается.

В открытых структурах подземные воды имеют единый уровень, с глубиной по мере уменьшения трещиноватости и закарстованности водопроводящие каналы обособляются. Наблюдается частичное или полное поглощение речного стока на одних участках и его разгрузка — на других. Крупные источники выходят в долинах рек Яйвы, Чаньвы, Койвы, Чусовой. В отдельных локальных водоносных зонах дебиты родников достигают  $2—3 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Велика роль карстовых вод в обводнении угольных шахт Кизеловского бассейна. В зоне Луньевского надвига, дренирующего



воды средней и верхней карбонатной толщи, притоки воды в одну из шахт составляли 1500—2800 м<sup>3</sup>/с [33].

Нижняя карбонатная обводненная толща включает тур нейский ярус нижнего карбона, верхний и средний девон. Водоупорной кровлей служит угленосная свита нижнего карбона, а водоупорной подошвой — такатинская свита песчаников, аргиллитов и сланцев среднего девона. В толще выделяют два типа разреза: карбонатный, распространенный в Кожимо-Вишерской структуре, и карбонатно-терригенный, характерный для Язьвинско-Чусовской структуры, особенно для Кизеловского района.

В районах с карбонатным типом разреза интенсивная циркуляция вод приурочена к узким линейным зонам, тектоническим разломам или контактам пород разного состава. Карстовые формы здесь встречаются на глубине до 250 м. между обводненными зонами располагаются блоки с малой водоотдачей. Поглощение поверхностного стока в закарстованных зонах приводит к образованию суходолов (р. Шайтанка, Глуховский в бассейне р. Чусовой).

Карбонатно-терригенный тип разреза отличается литологической разнородностью, невыдержанностью водосодержащих пород, небольшой водоносностью, малыми дебитами родников.

В карбонатных толщах зоны активного водообмена карстовые воды имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав и минерализацию обычно не более 0,5 г/л. В местах сброса шахтных вод и влияния шахтных отвалов отмечается загрязнение подземных вод сульфатами, железом и другими элементами.

В Западно-Уральской, складчатой зоне намечается три карстовых района, границы между которыми проводятся условно.

### **Средневишерский район карбонатного карста**

Район занимает обширную территорию от северной границы области до междуречья Вишеры и Язьвы (рис. 48). В литературных источниках он освещен мало. Наиболее закарстованы известняки и доломиты девона, нижнего (визейский ярус) и среднего карбона, в меньшей степени — более древние отложения. Воронки, исчезающие реки, суходолы, пещеры, родники тяготеют к долинам рек. Примером исчезающей реки является Вая, правый приток Вишеры. Она теряется выше устья и, пройдя подземным путем,

выходит на поверхность у подножья противоположного, левого, берега.

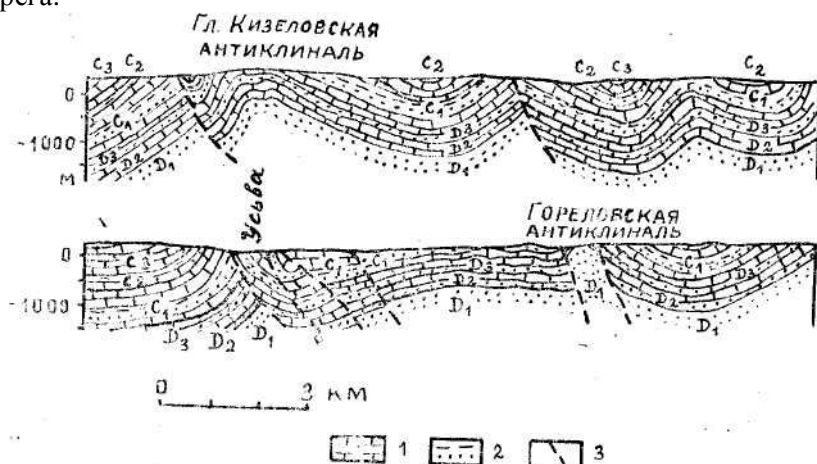


Рис. 49. Условия залегания карстующихся пород в складчатой зоне Урала: 1 — карбонатные породы, 2 — терригенные породы, 3 — разрывные нарушения

Л. А. Шимановский и Г. А. Сычкина [166] описывают карст доломитов верхнего протерозоя в бассейне р. Б. Колчим, левого притока р. Вишеры. В пределах Колчимской антиклинали доломиты образуют два поля; одно из них, ограниченное терригенными породами, прослеживается на обоих склонах долины верхнего течения р. Б. Колчим. Подземные воды гидрокарбонатно-кальциевого состава с минерализацией менее 0,4 г/л выходят на поверхность в виде нисходящих родников с дебитом 0,3—0,8 л/с. Зона горизонтальной циркуляции представляет собой довольно равномерно обводненную систему сообщающихся трещин и пустот на уровне р. Б. Колчим. Плотность коррозионных конусообразных и чашеобразных задернованных карстовых воронок диаметром до 12 м и глубиной до 1,5 м составляет 6—7 на 1 км<sup>2</sup>.

Второе поле доломитов на склоне долины среднего течения р. Б. Колчим с двух сторон ограничено веерообразно расходящимися тектоническими нарушениями, а с третьей — трансгрессивно и с размывом залегающей терригенной толщей ордовика. Блок доломитов вытянут вдоль контакта с терригенными водоупорными породами ордовика, которые ограничивают подземный сток к реке.

Ультрапресные воды из глыбовых осыпей терригенных пород поглощаются трещинами и движутся вдоль контакта, выщелачивая доломиты. Поле карстовых воронок вытянуто вдоль контакта узкой, до 10 м, полосой. Воронки конусообразные, часто — с обнажениями доломитов и понорами, диаметром до 34 м, глубиной до 7 м. Плотность воронок 30—40 на 1 км<sup>2</sup>. Карстовые воды выходят на поверхность в виде восходящих родников, причем некоторые из них имеют дебит более 100 л/с (Пьяный ручей). Минерализация воды менее 0,1 г/л, ее состав — гидрокарбонатно-кальциевый.

**Пещеры.** В районе насчитывается 69 пещер в карбонатных породах девона, карбона и перми. Наиболее крупными из них являются пещеры Еранка (более 500 м), Язьвинская (300 м), Черная (190 м), Органная (120 м), Писаная-3 (100 м) и Писаная-2 (95 м). Большинство пещер представляют собой выводящие каналы (или их фрагменты) подземных потоков. Входы в них располагаются чаще всего на склонах речных долин, а также в воронках.

В 1987 г. исследована Язьвинская пещера, находящаяся на правом берегу р. Язьвы, на 15 км северо-восточнее пос. Северный Колчим [98]. Входное отверстие шириной 8 м и высотой 1 м расположено в основании скального обнажения на 30 м выше меженного уровня р. Язьвы. Отчетливо выражены две морфологические части пещеры: привходовая и дальняя (рис. 50). Привходовая часть представляет собой галерею шириной 10—20 м, вытянутую в северо-западном направлении на 70 м при высоте 2—3 м; ее пол покрыт глиной, обломками обрушенных пород и натеков (коры). В двух местах обнаружены костные останки пещерных медведей. Свод галереи неровный, со следами многочисленных мелких обрушений, на отдельных его участках встречаются небольшие сталактиты и пятна известкового теста.

Узкий (0,5 м) лаз в западной стене галереи ведет в дальнюю часть пещеры, имеющую щелеобразный вид с несколькими низкими заловидными расширениями. Ширина узкой галереи не превышает 2 м, высота — 7 м, а заловидных расширений — соответственно 10 и 2,5 м. Заканчивается пещера непроходимой щелью.

### **Кизеловский район карбонатного карста**

Он простирается с севера, от верхнего течения р. Язьвы и правобережного бассейна р. Вижаихи, на юг, до между речья Усьвы и Вильвы (рис. 51).

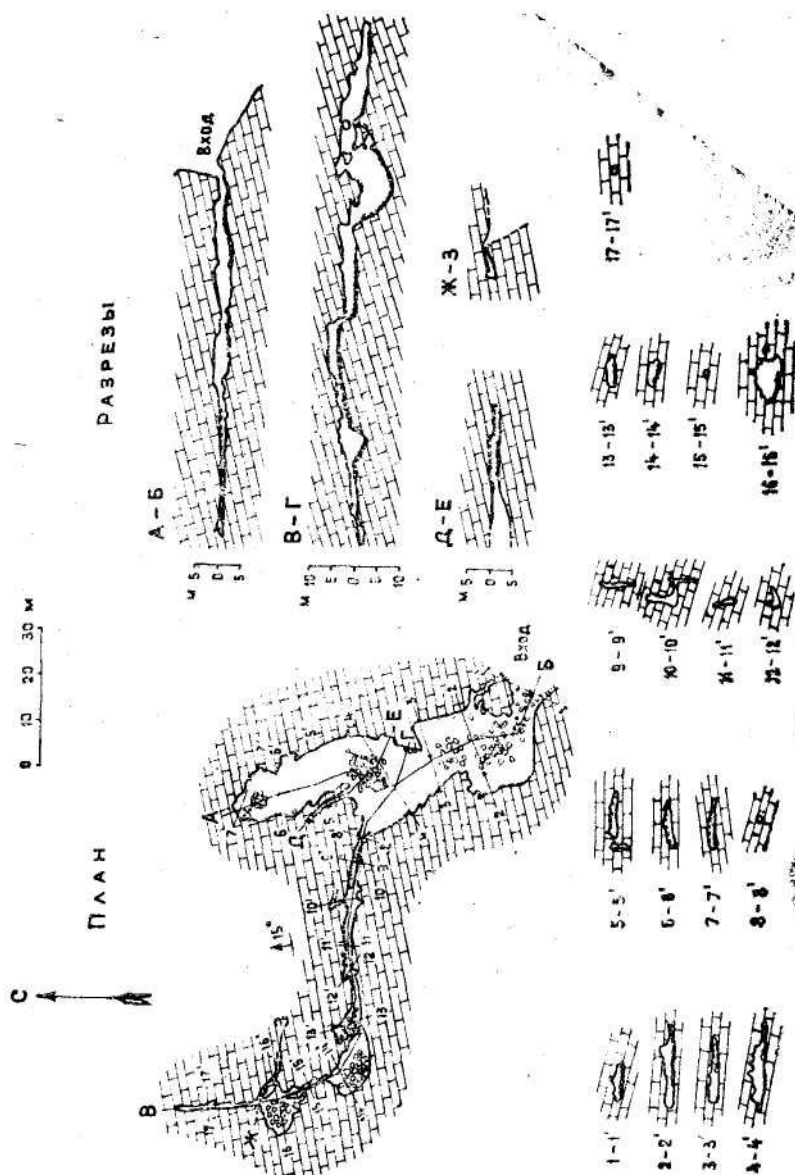
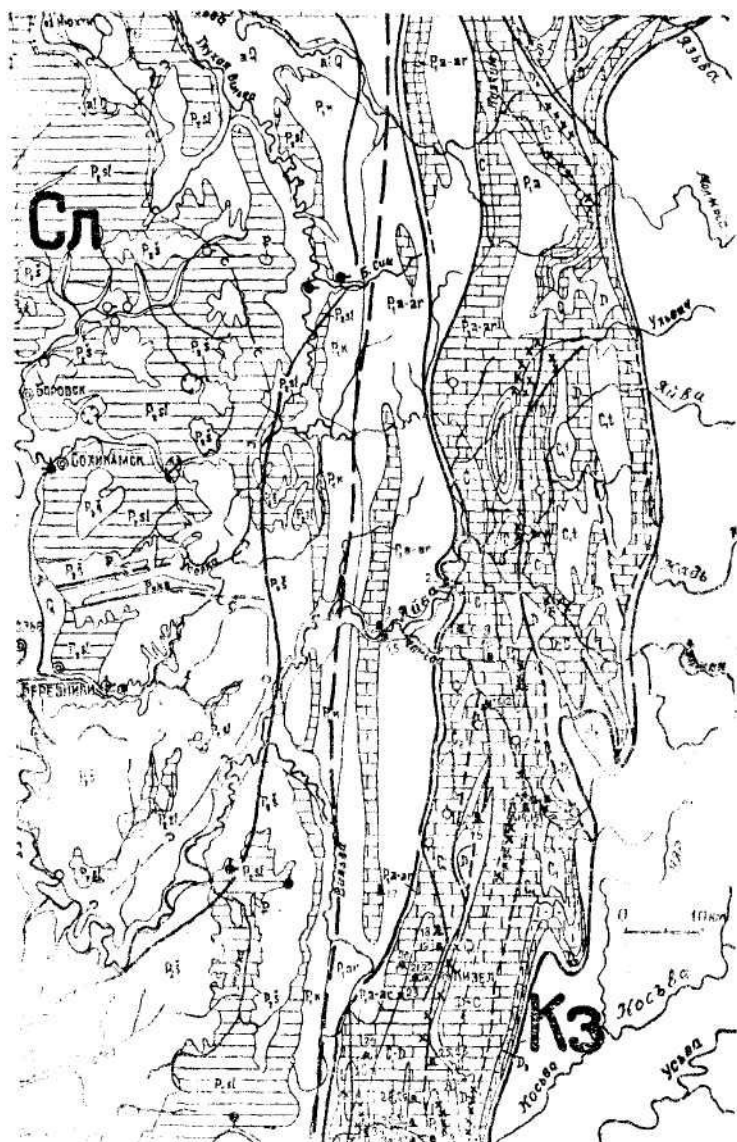


Рис. 50. Пещера Язьвинская (по И. А. Лаврову)



Рис, 51. Кизеловский (Кз) и Соликамский (Сл) карстовые районы

Карст изучается в связи с геологическими съемками, разведкой и эксплуатацией Кизеловского каменноугольного бассейна, промышленным и гражданским строительством. Начиная с 30-х гг. появляются специальные публикации по карсту, принадлежащие А. А. Васильеву, П. С. Шеиниу, В. П. Тебенькову, А. А. Смирнову, П. В. Забаринскому и др. [47]. В декабре 1933 г. в Кизеле на карстовой конференции обсуждались вопросы разработки месторождений каменных углей под закарстованными породами. В 1934 г. там же была организована Уральская научно-исследовательская карстовая станция. Большой вклад в исследование карста внесли М. С. Кельманский, О. Л. Эйно́р. В 1949—1951 гг. осуществляет съемку карста геоморфологический отряд Пермского университета [9, 39, 59, 94, 96]. Ряд работ посвящен гидрогеологии карста и глубинному карсту [72—74, 134]. Многочисленны публикации по спелеологии [122, 123, 131].

В северной части Кизеловского района карст развит в бассейнах Яйвы и Язьвы. Правый приток р. Яйвы — Ульвич — с расходом воды  $5 \text{ м}^3/\text{с}$  теряется ниже устья р. Сухой. Вода с шумом поглощается трещиной в визейских известняках. Суходол протягивается на 15 км и совпадает с выходом на поверхность известняков верхнего карбона и нижней перми. В суходоле или не доходя до него исчезают многочисленные притоки р. Ульвич. Постоянный водоток появляется в полосе развития известняков среднего карбона. Карстовые суходолы, исчезающие водотоки, поноры и карстовые родники встречаются в долинах рек Кади, Яйвы, Чикмана. Левый приток р. Язьвы — Молмыс — вблизи устья р. Малая Сырья на протяжении 400 м исчезает в трещинах скального обнажения и появляется на поверхности через 6 км.

На левобережье р. Сев. Колчим, правого притока р. Язьвы, ниже впадения левого притока Илья-Вож закарстованы карбонатные породы нижнего силура, верхнего девона, нижнего и среднего карбона [168]. Небольшие полости (0,3—30 см) вскрыты скважинами на глубине 19 м ниже уровня реки. В излучине р. Сев. Колчим на протяжении 230 м в известняках среднего карбона поглощается 26% меженного стока. Воронки, лога в карбонатном ложе долин заполнены плиоцен-четвертичным аллювием.

Конусообразные (42%), блюдцеобразные (36%), чашеобразные (10%) и сложные (12%) воронки имеют диаметр преимущественно до 15 м (94,8%) и глубину 2,5 м. Воронки в породах силура, верхнего

девона и турнейского яруса задернованы; в воронках акчимской свиты и верхнего карбона часто отмечаются обнажения известняков. В закарстованных толщах выделяется шесть карстовых полей (табл. 8).

Таблица 8

Характеристика карстовых полей левобережья р. Сев. Колчим [168]

Поле	Возраст карстующихся пород	Рельеф	Площадь поля, км <sup>2</sup>	Кол-во воронок	Коэффициент площадной закарстованности, %
1	Колчимская свита нижнего силура на контакте с такатинской	Водораздел	0,11	101	2,04
2	Колчимская свита	Склон долины р. Илья-Вож	0,09	12	0,15
3	Колчимская свита	Водораздел	0,014	3	0,53
4	Тектонический контакт верхнегр девона и турнейского яруса	Водораздел	0,02	25	6,50
5	Турнейский ярус	Склон долины р. Илья-Вож	0,022	12	1,80
6	Нижний-верхний карбон	Склон долины р. С. Колчим	0,11	41	3,60

Большая часть воронок находится на водоразделах, в основном в зоне контакта карстующихся и терригенных пород и вдоль тектонических нарушений. Наиболее крупные из них приурочены к склонам. Отдельные толщи закарстованы неравномерно (табл. 9).

Высокой активностью отличается карст Кизеловского участка. В долинах крупных рек, в основном поперечных относительно складок и разрывов, выходят известняки в виде уступов высотой до 100 м. Небольшие притоки проложили свои долины вдоль структур. Протекая по карбонатным породам, они теряют поверхностный сток. Ниже места исчезновения водотока долины превращаются в суходолы (Ниж. Мальцевка, Опаленная, Сухая Абля, Сухой Кизел и др.). Подземные водотоки выходят на поверхность нередко в устьевых частях суходолов на контакте карстующихся и менее карстующихся пород или в местах, экранированных аллювием главных рек. В результате сброса шахтных вод в некоторых суходолах появились постоянные водотоки.

Таблица 9

**Характеристика закарстованности отдельных толщ левобережья  
р. Сев. Колчим [188]**

Карстующиеся породы, их возраст	Кол-во воронок, %	Плотность воронок на 1 км <sup>2</sup>	Коэффициент площади дной закарстованности, %	Коэффициент карстовой денудации, см
Доломиты и известняки нижнего силура	59,7	85,8	0,18	0,3
Органогенные известняки и доломиты верхнего девона	3,6	25,0	0,18	0,47
Кремнистые и битуминозные известняки турнейского яруса	15,5	75,0	0,55	0,49
Известняки и доломиты акчимской свиты нижнего карбона	5,8	27,9	0,63	2,7
Брекчиевидные известняки с прослоями мергелей, аргиллитов и алевролитов среднего карбона	15,4	82,8	0,37	0,5

Распространенными формами являются воронки, котловины, карстовые овраги, пещеры. На Луньевско-Кизеловском участке зафиксировано 667, а в окрестностях Губахи — 300 воронок [94, 96].

Для двух карстовых полей, расположенных севернее и южнее р. Кизел, по керну скважин изучена глубинная закарстованность. Карстопроявления установлены до 140 м ниже современных русел рек.

Закарстованность надугленосных карбонатных толщ является причиной обводнения угольных месторождений. Приток карстовых вод в шахты может достигать более 2000 м<sup>3</sup>/ч. Сброс загрязненных шахтных вод, обогащенных железом, приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод, а также заполнению карстовых каналов и пещер железистыми осадками.

В бассейне р. Усьвы произведена съемка карста на площади 200 км<sup>2</sup> [39, 59]. Река Усьва, правый приток р. Чусовой, принимает справа притоки Сухой Лог, Нырок, Горелую, Рудянку, Синюху, слева — Бруснянку, Порожную, Свиной Лог, Моховатку, Столбовку. Из всех притоков только р. Порожная сохраняет постоянный водоток на всем протяжении, остальные же на отдельных участках исчезают (рис. 52). Наиболее закарстованы химически чистые визейские известняки, затем — верхнекаменноугольные, в меньшей степени — верхнетурнейские и живетские. Слабо закарстованы известняки



верхнего девона, среднего карбона и перми, обладающие глинистостью, кремнистостью или битуминозностью.

Воронки, котловины, суходолы располагаются меридиональными полосами, вытянутыми по простиранию пород или линий тектонических нарушений. На площади около 200 км<sup>2</sup> зафиксировано 528 воронок. Большая часть их (86%) расположена в логах и долинах, меньшая (14%) — на водоразделах. Около 84% воронок имеют диаметр не более 15 м; примерно 81% — глубину до 3 м. Крупные воронки — диаметром 30—90 м и глубиной 8—35 м — встречаются только в долинах и логах. Средняя плотность воронок на площади распространения карбонатных пород составляет 3,8 ф/км<sup>2</sup>, для визейских известняков она достигает 6 ф/км<sup>2</sup>. На визейские известняки приходится 67% всего количества воронок. Для площади распространения карбонатных пород, равной 140 км<sup>2</sup>, коэффициент площадной закарстованности в среднем составляет 0,07%, коэффициент карстовой денудации — 0,7 см. малые средние показатели закарстованности карбонатных пород не являются признаком слабого проявления карста. Наиболее закарстованы линейные зоны тектонических нарушений и литологических контактов.

Исчезающие реки, мощные родники, воронки, котловины, суходолы и пещеры указывают на активный карст Кизеловского карстового района. В зоне влияния угольных шахт формируются депрессионные воронки уровня карстовых вод, возрастает скорость их движения, изменяется химический состав. Под влиянием стоков загрязненных шахтных вод повышается агрессивность карстовых вод.

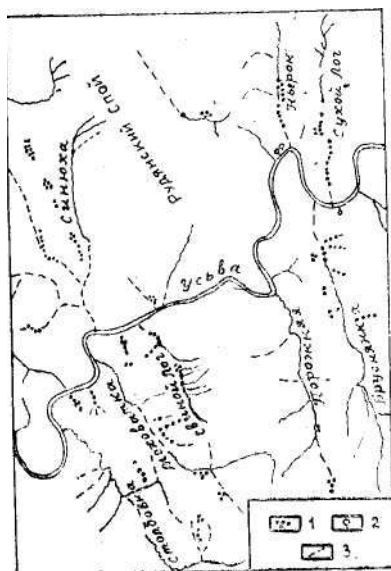


Рис. 52. Карстопроявления в бассейне среднего течения р. Усвье: 1 — поля воронок, 2 — родники, 3 — сухие русла [39]

**Пещеры.** В районе известно 216 пещер в карбонатных породах девона, карбона и перми (главным образом карбона). Наиболее крупными пещерами являются Кизеловская Виашерская (7600 м), Геологов-2 (3400 м), Российская (1450 м), Темная (1300 м) и Мариинская (1000 м). Наибольшую глубину — 144 м — имеет пещера Темная.

Кизеловская Виашерская пещера — одна из наиболее интересных на Урале. Она известна с середины прошлого века. Первый план пещеры составлен в 1909 г. В. Н. Грамматчи ковым, впоследствии он был дополнен П. С. Шейным. Съёмка 800 м ходов пещеры в масштабе 1:200 была выполнена в 1948 г. Л. С. Кузнецовой совместно с Ю. К. Митюниным и В. М. Армишевым. В 1971 г. спелеологи Нижнего Тагила открыли новые гроты, в результате чего протяженность пещеры увеличилась до 4000 м. С 1980 по 1984 г. секция спелеологов г. Кизела составила новый план, на котором обозначено 7,6 км подземных ходов (рис. 53).

Пещера находится на северной окраине г. Кизела, неподалеку от угольной шахты Северная (бывшая Капитальная № 6), в известняках и доломитах карбона. Входы в пещеру размещаются в основании скального 10-метрового уступа, расположенного на правом берегу р. Виашер на высоте 40 м над урезом воды. Преобладают ходы северо-западного простираания. Г. Н. Панарина выделяет в пещере четыре этажа: верхний — на уровне входа и на 3—5 м ниже его, второй — ниже входа на 8—10 м, третий — на 15—20 м ниже второго, четвертый — на 12 м ниже третьего. Преобладают неширокие горизонтальные и наклонные проходы, иногда с небольшими уступами и колодцами. В местах пересечения галерей, развитых по тектоническим трещинам, образованы достаточно крупные гроты — Исполин (10х15х20 м), Амфитеатр (25х 10х5 м), Спелеологов (15х20х3 м) и др.

Отложения в гротах представлены главным образом сталактитами, сталагмитами, натечными корами, занавесями, гурами, в привходовой части и проходах — обломками обрушившихся пород. В пещере были обнаружены кальцитовые пизолиты [110], а также костные останки летучих мышей и куниц [156].

В настоящее время пещера сухая, скопление воды в виде луж связано с ее инфильтрацией и конденсацией. Однако до начала эксплуатации угольной шахты в некоторых гротах (Белоснежный) существовали озера.

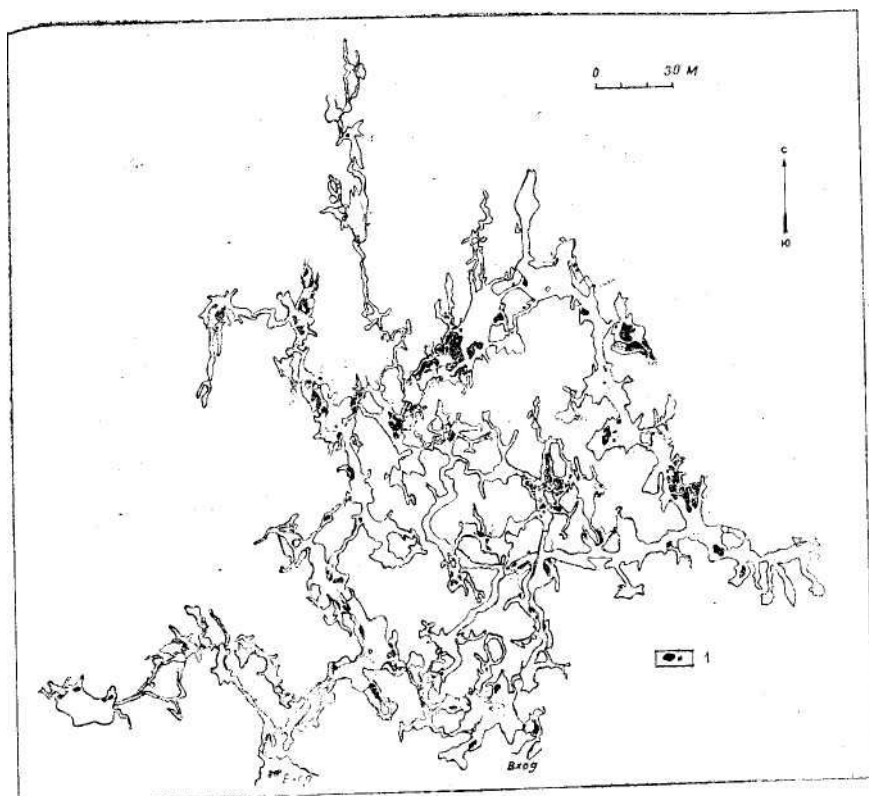


Рис. 53. План пещеры Кизеловская Виашерская: 1 — целики пород (по материалам спелеологов г. Кизела)

Исчезновение озер вызвано дренированием водоносных горизонтов при откачке воды из шахты.

Пещера Темная является самой глубокой в Пермской области. Ее обнаружили в 1961 г. студенты-геологи. Позже спелеологи Пермского университета составили план и установили ее протяженность — около 1300 м. Входное отверстие треугольной формы (0,8X1,2 м) находится в борту небольшой воронки. От входа начинается крутой спуск, который затем выполаживается (рис. 54).

Пещера имеет этажное строение [172]. Проходы первого этажа развиты по системе взаимопересекающихся трещин шириной 0,8-2,0 м, высотой 0,5-1,5 м.

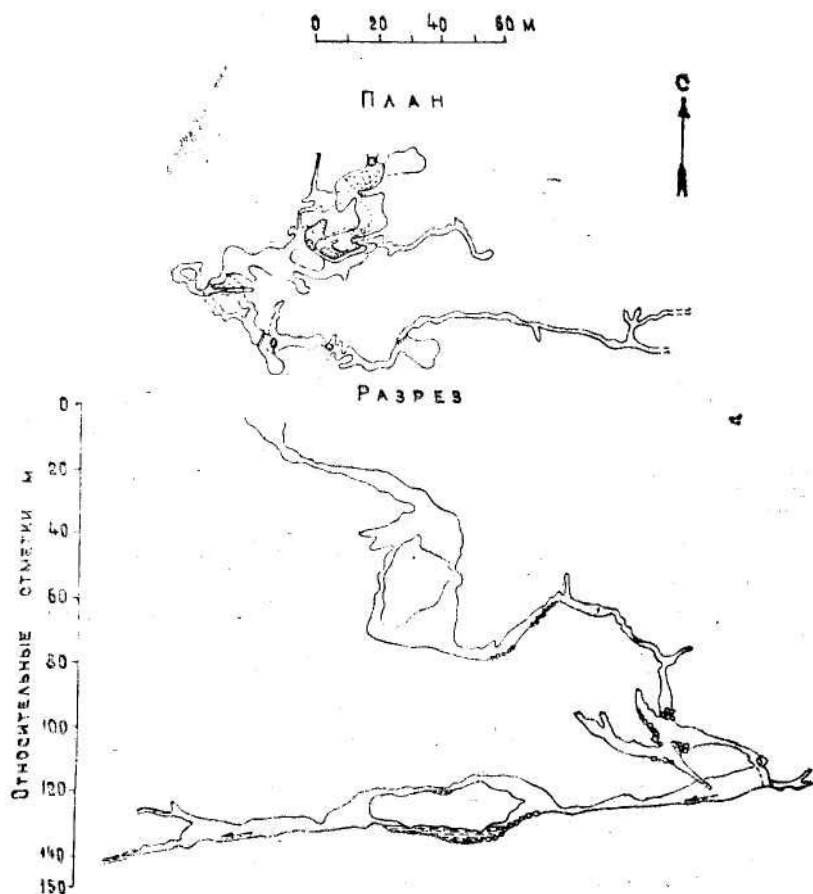


Рис. 54. План и разрезы пещеры Темная (по материалам спелеологов г. Перми)

Имеется несколько гротов, из которых наиболее крупный (длина 27, высота до 20 м) находится в нижней, переходной ко второму части этажа. Из отложений преобладают обломки обрушившихся пород

Второй этаж, соответствующий днищу крупного грота и нескольким ответвлениям, оканчивается 27-метровым колодцем.

Далее следует серия узких проходов и лазов, выводящих к колодцам глубиной 25 и 10 м. Последний колодец приводит в грот Глиняный (длина 30, ширина 10, высота 8 м). Спустившись ниже, можно оказаться в меандрирующей галерее высотой до 25 м, по дну которой течет ручей. Ручей выводит в грот Юбилейный. Днище грота покрыто глиной. В его верхней части есть натечные образования.

Морфология пещеры способствует накоплению в ней холодного воздуха, однако нижние гроты сохраняют положительную температуру. Происхождение пещеры связано с деятельностью временных потоков, проникающих через поглощающие поноры на поверхности в глубь массива. Она трудна для прохождения и представляет помимо научного спортивный интерес.

### **Чусовской район карбонатного карста**

Район является продолжением на юг Кизеловского карстового района (рис. 55). Здесь наиболее закарстованы доломиты верхнего девона, доломиты и чистые разности известняков визейского яруса, известняки верхов среднего карбона, в меньшей степени — известняки верхнего карбона. Карстопроявления приурочены к эрозионным формам, зонам тектонических нарушений, контактам карбонатных пород с не карстующимися. Для района характерны исчезающие реки и суходолы, воронки, мощные родники и пещеры.

Суходолы прослеживаются ниже исчезновения рек Семеновки, Глухой, Сухого Поныша, Большой Исаковки, Сухой Бедьки, Суходолки, Свадебной, Шайтанки. Суходол р. Шайтанки, впадающей в р. Чусовую, приурочен к фаменским известнякам в ядре Журавлинской антиклинали. Поглощенные воронками поверхностные воды разгружаются в долине р. Чусовой в виде мощного родника. Суходол Глухой имеет водосборную площадь 24 км<sup>2</sup>. Подземный поток выходит в устье лога при впадении в р. Чусовую двумя мощными родниками: Малым и Большим Глухим, расход воды в которых достигает в паводок 520—700 л/с.

Река Поныш протекает по визейским известнякам, слагающим ядро антиклинали. В паводок в карстовых воронках теряется до 2 м<sup>3</sup>/с поверхностного стока. На протяжении 3 км выше устьев Сырого Покрыша и Талки долина имеет вид типичного суходола. Разгрузка происходит мощным подводным родником на дне воронки в русле р. Чусовой на 0,8 км выше впадения Поныша [33].

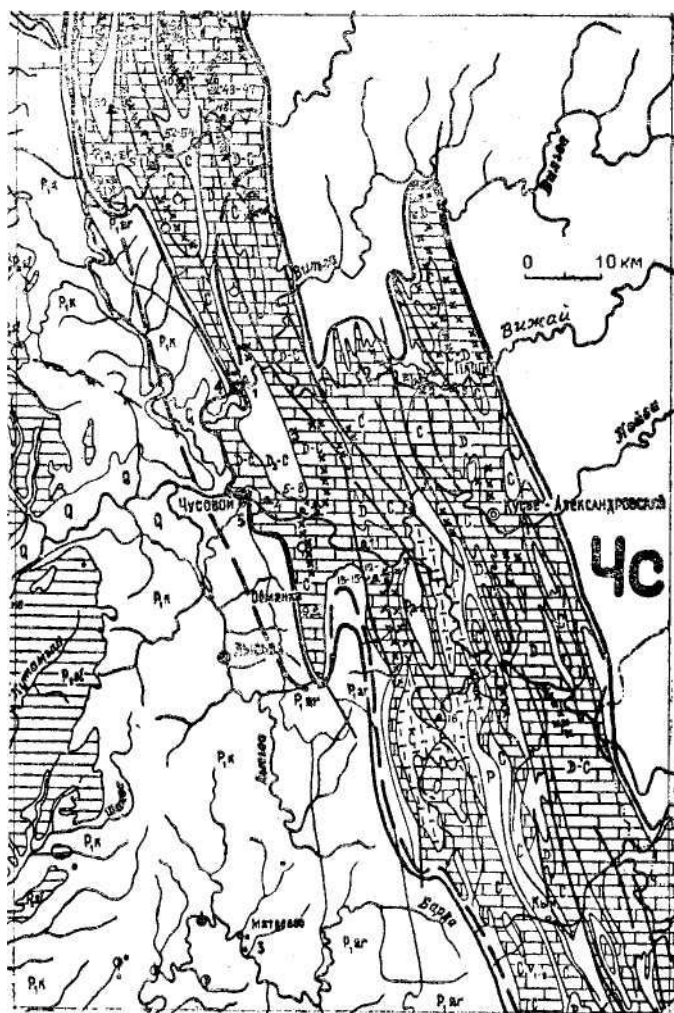


Рис. 55. Кизеловский (южная часть) и Чусовской (Чс) карстовые районы

Вода из воронки фонтанирует и вспучивает поверхность воды. В 1961 г. в 12 м от старого выхода у уреза воды появился еще один родник.

На склонах долин и междуречий встречаются слепые карстовые и эрозионно-карстовые лога. Распространенными формами являются воронки. По В. А. Букину, они относятся к коррозионным,

коррозионно-эрозионным и родниковым в метях разгрузки карстовых вод. Наибольшая плотность ( $50 \text{ ф/км}^2$ ) отмечается в долинах рек и суходолах. Реже встречаются крупные котловины. Аналогичная полю карстовая депрессия длиной 15 км при ширине 5 км и глубине до 100 м формируется в долине р. Глухой. Поноры на дне депрессии поглощают речной сток [157].

Подземные формы представлены пещерами, каналами, кавернами, открытыми и заполненными вторичным материалом полостями. Как отмечает Ш. Г. Милихикер, многими скважинами вскрыты участки, где известняки и доломиты разрушены до состояния песка, супеси или суглинка, доломитовой или известняковой муки. Сложные карстовые полости, выполненные рыхлым материалом, достигают в высоту 35 м.

**Пещеры.** В районе насчитывается 95 пещер в карбонатных породах девона и карбона, наиболее длинными из которых являются Большая Пашийская (522 м); Чудесница (512 м), Голубое озеро (240 м), Обманка-2 (191 м), Большая Поньшская (188 м), Большая Куртымская (150 м), Глухая Ледяная (123 м) и Назаровская (100 м).

Пещера Чудесница находится на левом берегу р. По ныш в 2 км от впадения ее в р. Чусовую (рис. 56). Она обнаружена в 1974 г. жителем г. Лысьвы В. А. Сыропятовым и исследована в 1975 г. спелеологами г. Перми. Пещера образована в толстослоистых визейских известняках, вероятно, древним подземным потоком исчезнувшей р. Поиыш. Вход в нее имеет вид нескольких вертикальных трещин в скальном обнажении, возвышающемся на 50 м над рекой. Пещера представляет собой лабиринт с перегородками и циклами шириной от 2 до 15 м при высоте до 10—12 м, вытянутую в северо-восточном направлении на 130 м. Из дальней тупиковой части в восточном направлении продолжается узкий ход длиной до 100 м.

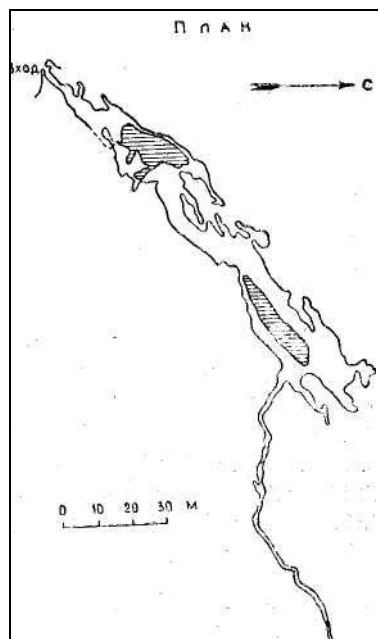


Рис. 56. Пещера Чудесница по материалам спелеологов г. Перми): штриховкой обозначены циклики пород

Дно галереи покрыто глиной, местами обвальными массами. Имеется несколько небольших озер. Пещера отличается разнообразием сталактитов, сталагмитов, занавесей, гелик титов, кристаллических оторочек, пизолитов, многие из которых, к сожалению, разрушены. Обнаружены также костные останки животных. Пещера населена летучими мышами.

Таким образом, карстовые районы Западно-Уральской складчатой зоны характеризуются активным карбонатным карстом, признаками которого являются исчезновение рек, наличие суходолов, линейных полей воронок и котловин, мощных родников и пещер.

В алмазоносных районах Среднего и Северного Урала детально изучено [148] свыше 50 эрозионно-карстовых депрессий в карбонатных породах, от протерозоя до пермской системы, длиной 2—100 км и более, шириной от сотен метров до 3—44 км. мощность выполняющих их мезокайнозойских отложений 25—100 м, включая аллювиальные — до 50 м [149]. Формируются депрессии в зоне активного водообмена на контакте карбонатных пород с некарстующимися. Эти формы аналогичны полям.

## **КАРСТОВЫЕ РАЙОНЫ ЦЕНТРАЛЬНО-УРАЛЬСКОГО ПОДНЯТИЯ**

**Геолого-гидрогеологические условия.** Центральное-Уральское поднятие представляет собой наиболее возвышенную часть горноскладчатого Урала. Древние протерозойские метаморфические и нижнепалеозойские вулканогенные и осадочные образования, слагающие, крупные поднятия — анти клинории — и разделяющие их синклинии, подвергнуты многочисленным разрывным нарушениям меридионального и субмеридионального простирания.

Карстующиеся породы ордовикской, силурийской и, частично, девонской систем: известняки, доломиты с прослоями глинистых и карбонатных сланцев, реже — мраморы, мраморизованные известняки — приурочены к Улсовско-Койвинскому синклинорию. Карбонатные массивы занимают пониженные участки рельефа, слагая



наиболее глубокие части межгорных впадин. Известняки неравномерно закарстованы и перекрыты песчано-глинистыми элювиально-делювиальными, а в долинах рек — аллювиальными отложениями. Задернованные воронки, реже — пещеры, приурочены к склонам межгорных понижений, долинам рек, логом. В толще пород скважины фиксируют каверны, местами полости размером от 0,2 до 15 м, частично или полностью выполненные обломочным материалом. Карст проявляется на глубине до 50—60 м, а в зонах разломов — до 120 м [33].

Подземные воды приурочены к верхней трещинной зоне выветривания пород, зонам тектонических нарушений и контактам пород различного литологического состава, а также рыхлым отложениям. Все типы вод гидравлически связаны между собой.

Трещинно-карстовые воды в зоне выветривания карбонатных пород распространены в межгорных впадинах в виде нешироких меридионально вытянутых бассейнов. Трещинно-карстовые зоны дренируют трещинные воды контактирующих с ними некарстующихся пород, что обеспечивает высокую водообильность и дебит родников до 500 л/с.

По периферии трещинно-карстовых бассейнов подземный сток субширотный, в осевых частях он преобразуется в субмеридиональный, параллельный геологическим структурам и речным дренам. Наиболее водообильны субмеридиональные придолинные участки рек Улсовско-Койвинского синклинария — Вишеры, Улса, Тыпыла, Косьвы, Кырьи. Здесь выходят источники с дебитом от 10 до 80 л/с. В долине р. Тыпыл рассредоточенный на протяжении 200 м восходящий родник имеет суммарный дебит 555 л/с [33].

Водоносная зона тектонического разлома на контакте известняков с метаморфическими породами протерозоя и сланцами ордовика проходит восточнее пос. Велс. К ней приурочен родник с дебитом 200 л/с. Менее значительные водоносные зоны фиксируются в верховьях рек Койвы и Усьвы, а также по восточному контакту известняков с конгломератами и сланцами ордовика. За пределами водоносных зон дебит родников, как правило, не превышает 5 л/с при преобладающем 1 л/с. Химический состав трещинно-карстовых вод преимущественно гидрокарбонатно-кальциево-магниевый, минерализация их 0,1—0,2 (до 0,4) г/л.

В пределах Улсовско-Койвинского синклиория намечается три карстовых района.

### **Верхневишерский район карбонатного карста**

Район расположен в бассейнах верховьев р. Вишеры и ее притоков Лыпы и Улса (рис. 48). Здесь закарстованы карбонатные породы среднего ордовика и силура. Наиболее распространены неглубокие блюдцеобразные, заполненные элювиально-делювиальным материалом и задернованные воронки, некоторые из них заполнены водой [140]. Реже встречаются конусообразные формы с выходами коренных пород на стенках и покорами на дне. В мраморах лудловского яруса (силур) плотность воронок достигает 12 на 1 км<sup>2</sup>. На левобережье р. Вишеры поноры в руслах ее притоков поглощают поверхностный сток, в основном в зоне Таборского надвига.

Суходолы имеются в бассейнах рек Таборная, Зыряновка, Ивановка, Чувалха, Пропашая, Верхняя Паниха, Нижняя и Верхняя Юбрышка, а также на правобережье р. Вишеры — Сухая Лыпя и Гладкий Лог. Кольматированный карст установлен на водоразделе Велса и Вишеры, Лыпы и Вишеры, на северном окончании хребта Тулымский Камень, по левобережью р. Велс в нижнем течении. Карстовые воронки глубиной от 10 до 40 м и диаметром 50—100 м заполнены олигоценowymi гравийно-песчаными аллювиальными отложениями с линзами белых глин. В устье р. Сухая Лыпя мелкие полости вскрыты скважинами до глубины 106 м, причем до отметки 96 м они заполнены аллювием. И. Б. Попов и другие [140] относят карст мраморов и доломитов протерозоя в верховьях р. Вишеры к Кольскому типу. Он проявляется в виде воронок диаметром 3—25, глубиной 1,5—2,0 м, реже — до 8 м, расположенных цепочками.

Наиболее интенсивный карст установлен на восточном склоне хр. Ольховский Камень, на северо-западе и севере массива горы Ишерим, на южном перевале хр. молебный Камень и на западном склоне хр. муравьиный Камень.

**Пещеры.** В районе известно 5 пещер в массивах силурийских известняков, длиннейшей из которых является Большая Велсовская (280 м), Упоминание о ней содержится в материалах Археологической комиссии 1895 и 1902 гг. В 1939 г. М. С. Гуревич составил план пещеры. В 1972 г. спелеологический отряд Пермского университета осуществил съемку пещеры в масштабе 1:500 и геохимическое исследование воды, льда и натечных образований.

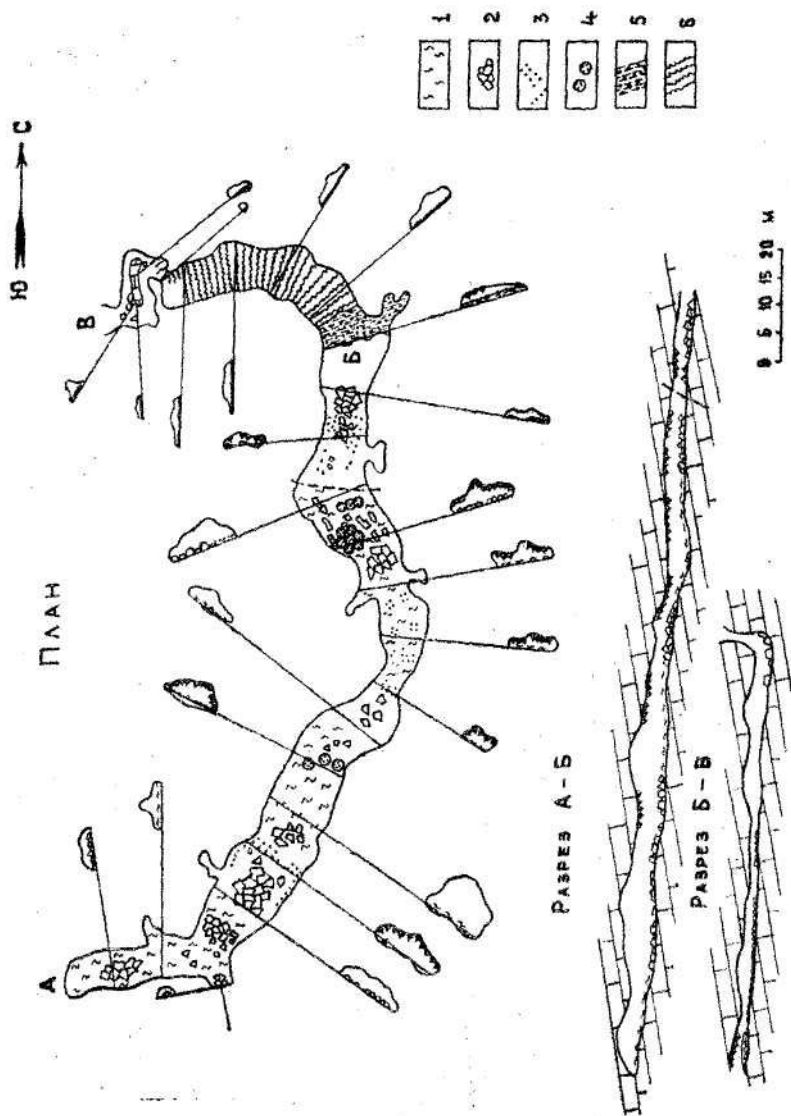


Рис. 57. Пещера Большая Велсовская: 1 — глина, 2 — глыбы, 3 — сталактиты, 4 — сталагмиты, 5 — озеро, 6 — лед (по Г. Н. Панариной, 1973)

Вход в пещеру находится в воронке на северо-восточной окраине пос. Велс на 1 км выше устья р. Велс, впадающей в р. Вишеру. Пещера развита в светло-серых доломитизированных известняках нижнего силура. Она представляет собой полого наклоненный тоннель (рис. 57), дно которого покрыто обломками пород и глиной. На потолке вдоль ниш, развитых по трещинам, образовались небольшие сталактиты. Ширина тоннеля 5—18 м, высота 2,5—8,0 м. В наиболее пониженной конечной части сохраняются снежно-ледовые образования. Здесь же имеется второй провальный вход в пещеру в виде колодца глубиной около 4 м. Температура пещерного воздуха в июле 1972 г. составляла от +4 до -2°С. По мнению Г. Н. Панариной, пещера образована подземным потоком, направлявшимся от водораздела рек Велса и Вишеры в сторону последней.

### **Верхнекосьвинский район карбонатного карста**

Район расположен в верховьях р. Косьвы и ее притоков Тыпыла и Кырьи. Здесь закарстованы преимущественно силурийские известняки и доломиты. В районе намечается четыре карстовых участка: 1) левобережье р. Пожвы, 2) правобережье р. Тылай, 3) правобережье р. Кырьи в 1,6 км от устья, 4) левобережье р. Кырьи выше пос. Растес. Плотность воронок невелика.

### **Верхнеусьвинский район карбонатного карста**

Район является продолжением предыдущего. Карстуются в основном силурийские и девонские карбонатные породы. Территория изучена мало.

Для карстовых районов Центрально-Уральского поднятия характерны карстовые родники со значительными дебитами, суходолы; встречаются в них и пещеры.

# ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КАРСТ

## Виды деятельности человека в карстовых районах

Хозяйственная деятельность человека является мощным фактором воздействия на природную среду и геосистемы разных ее уровней — от отдельного дерева до биосферы, от речного русла до гидросферы, от корродируемой глыбы известняка до карстосферы в целом. Карст относится к сложным многофакторным процессам. Он развивается при сочетании ряда условий, а его особенности определяются многими естественными факторами. Деятельность человека породила большую группу антропогенных факторов, влияющих на развитие карста — его условия, особенности проявления, интенсивность.

Можно выделить ряд направлений деятельности человека, связанных с использованием естественных ресурсов и природной среды карстовых районов. Природопользование включает следующие виды деятельности, которым соответствуют виды воздействия.

1. Горнопромышленная: приповерхностная разработка месторождений; разведка и эксплуатация месторождений посредством скважин, сейсморазведочных взрывов; добыча полезных ископаемых открытым способом; разработка полезных ископаемых с помощью горизонтальных выработок; добыча полезных ископаемых шахтным способом; формирование искусственных месторождений; рекультивация месторождений.

2. Гидротехническая: сооружение плотин и создание искусственных водоемов — прудов, водохранилищ; спрямление русел рек; строительство каналов и водных путей; сооружение береговых дамб.

3. Сельскохозяйственная (орошаемое и неорошаемое земледелие, пастбищное скотоводство) и мелиоративная: внесение химических удобрений в почвы; распашка почв; агроирригация; осушение территорий; выпас скота и его содержание на фермах и в летних лагерях, на пастбищах; содержание парка сельскохозяйственных машин и агрегатов.

4. Лесохозяйственная: рубка лесов, обезлесивание территории; лесонасаждение (восстановление лесов).

5. Селитебная и промышленная: строительство жилых, административных, промышленных, бытовых и других сооружений; сброс сточных вод в реки и водоемы; сброс отходов в водоносные

горизонты, создание подземных резервуаров и накопителей; выброс в атмосферу отходов производства; забор поверхностных вод для водоснабжения.

6. Коммуникационно-транспортная (линейные сооружения): сооружение и эксплуатация автомобильных и железных дорог; выброс продуктов неполного сгорания горючей смеси; сжигание кислорода, загрязнение атмосферы при авиаполетах; сооружение трубопроводов, компрессорных станций, линий электропередач; утечки из трубопроводов, загрязнение поверхностных и подземных вод.

7. Рекреационная: оборудование карстовых пещер для массового посещения; создание-лесопарковых зон, заказников, заповедников, национальных парков, сооружение небольших водоемов, осуществление лесонасаждений, строительство пансионатов.

8. Бelligеративная: ядерные взрывы; устройство и эксплуатация учебно-методических и испытательных полигонов; боевые действия с применением химического оружия, гербицидов и дефолиантов; боевые действия с применением зажигательного оружия.

Каждый вид воздействия вызывает изменение условий и факторов развития карста, а в конечном счете — характера его проявления.

В Пермской области наиболее существенные изменения обстановок карстообразования наблюдаются в районах горнопромышленной (Кизеловский угольный бассейн, Верхнекамское месторождение калийных солей), гидротехнической (КамГЭС) и селитебной (Кунгур, Полазна и др.) деятельности.

В силу особенностей своего положения и геологической истории область отличается разнообразием полезных ископаемых и значительными размерами месторождений. В ее пределах выявлен ряд бассейнов (Верхнекамский соленосный, Кизеловский угольный) союзного значения, а также многочисленные нефтяные и газовые месторождения, нерудные полезные ископаемые. В строении большинства разрабатываемых месторождений участвуют карстующиеся породы. Во многих случаях они сами являются полезными ископаемыми (калийные соли, гипсы, известняки) или содержат их (нефть, газ, пресные воды, рассолы).

С добычей и переработкой полезных ископаемых связан ряд аспектов антропогенного воздействия на карст, которые определяются типом полезного ископаемого, его размещением, условиями добычи и характером переработки.

## **Влияние горно-промышленной деятельности на карст в Кизеловском каменноугольном бассейне**

Месторождение каменного угля эксплуатируется уже более 100 лет. До начала 30-х гг. добыча угля производилась главным образом в штольнях и неглубоких наклонных (по падению угольных пластов) шахтах. Выработки располагались в дренированной зоне. Выемка угля осуществлялась с обрушением кровли, при этом не наблюдалось значительных водопритокков.

С 30-х гг. перешли к вскрытию угольных пластов, залегающих на большой глубине, шахтами глубиной в сотни метров, а позже — более 1 км. Опыт сооружения первых шахт показал, что добыча угля в месторождении осложняется преимущественно из-за сильной обводненности закарстованных известняков надугольной толщи.

Шахтный водоотлив, осуществляемый в районе с начала закладки первых шахт по сегодняшний день, обусловил на первых порах значительную сработку статических запасов карстовых вод в надугольных карбонатных толщах. Вокруг шахт сформировались депрессионные воронки. Непрерывная откачка вод привела к слиянию соседних воронок, развитию общей депрессионной поверхности (рис. 58). Складчатое залегание, различная закарстованность пород и ее изменение с глубиной предопределяют форму депрессионных площадей. Распространение воронок депрессии в широтном направлении ограничивают терригенные некарстующиеся породы.

Система разработки угольных пластов с обрушением кровли обусловила значительный водоприток в шахты (до 1000— 2500 м<sup>3</sup>/ч и более).

Изменение гидродинамических условий карстообразования. Развитие депрессионных воронок нарушило характер гидродинамической зональности закарстованных толщ. На сотни метров увеличилась зона вертикального нисходящего движения вод. Водоносный горизонт верхней карбонатной толщи изолирован водоупорной пачкой среднего карбона. между ним и сдренированным (ниже водоупора) горизонтом карстовых вод средней толщи возник перепад в уровнях, достигающий сотен метров.

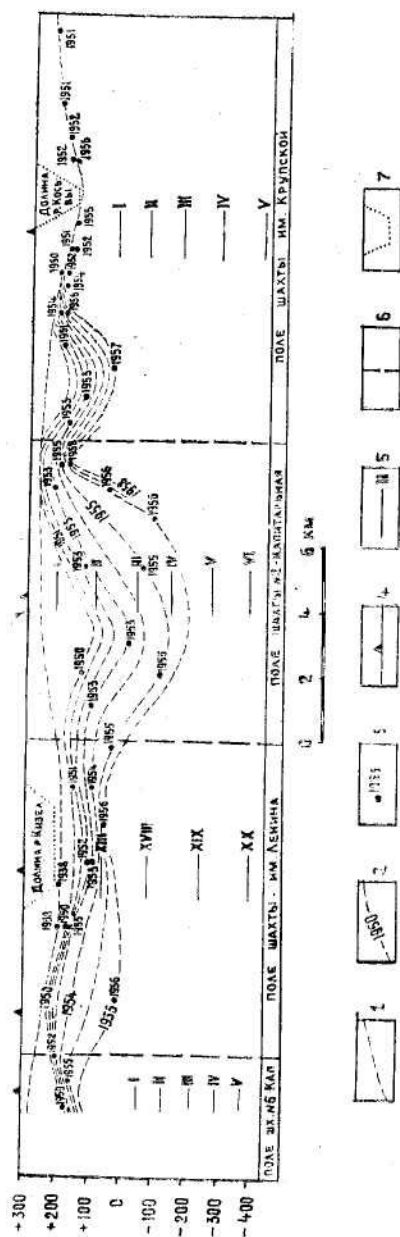


Рис. 58. Развитие депрессионных воронок на западном крыле Главной Кизеловской антиклинали в результате водоотлива шахт: 1—естественный уровень карстовых вод средней карбонатной толщи, 2 — динамический уровень карстовых вод, 3 — уровни, зафиксированные в скважинах в год наблюдения, 4 — шахты, 5 — горизонты разработки шахт, 6 — границы шахтных полей, 7 — контуры речных долин (по Ю. А. Ежову)



В этих условиях бурение разведочных скважин, пересекающих водоупорную пачку, вызвало перелив карстовых вод из верхней карбонатной толщи в среднюю, вследствие чего увеличился водопиток в шахты. Движение агрессивных (за счет содержания продуктов окисления сульфидов) вод по вертикальным каналам, заданным скважинами, сопровождается активизацией коррозионных процессов. Поступление вод из верхней карбонатной толщи стало дополнительным источником питания карстовых вод средней (сдренированной) толщи, в формировании которых основная роль принадлежит атмосферным осадкам, водам рек, исчезающих под землей в полосе карбонатных пород, и подземным водам, поступающим из некарстающих пород.

В зависимости от гидрогеологической обстановки переобустройство скважинами водоупорной пачки вызывает не только нисходящий, но и восходящий поток (рис. 59). В этом случае происходит внедрение менее агрессивных карстовых вод средней толщи в полости и трещины верхней. В ряде случаев, попадая в необводненные полости, вымывая заполнитель кольятированных полостей, напорные воды способствуют развитию карста.

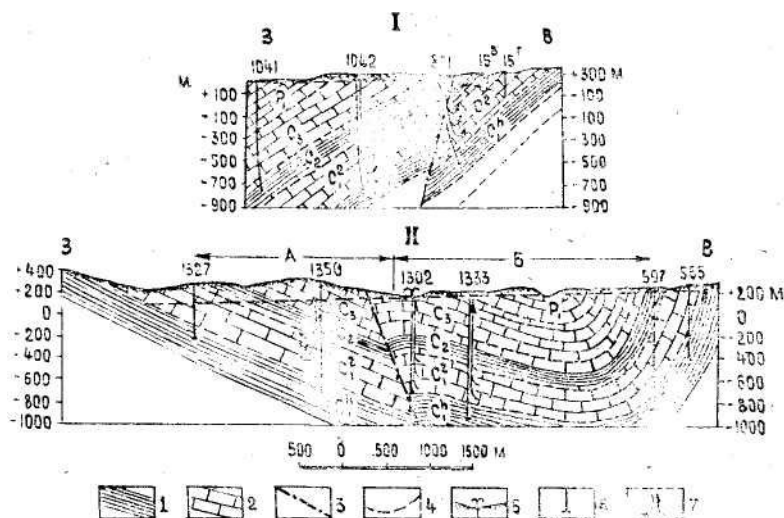


Рис. 59. Гидрогеологические профили западного крыла Главной Кизловской антиклинали (I) и Косвинсей синклинали (II): 1 — некарстающиеся водоупорные породы, 2 — карстающиеся породы, 3 — разрывные нарушения, 4 — уровень карстовых вод, 5 — фонтанирующие скважины, 6 — разведочные скважины, 7 — направление движения воды по стволу скважины при переобустройстве водоупорной пачки; А — участок нисходящих потоков, Б — участок восходящих потоков (по Ю. А. Ежову)

В естественных гидрогеологических условиях сток карстовых вод осуществляется от водоразделов к долинам основных широтных рек. Нижняя граница активного движения вод проходит на глубине 500—600 м от поверхности водоразделов. Вследствие развития депрессионных воронок дренами карстовых вод стали горные выработки, шахты. Воронки депрессии практически сденировали среднюю карбонатную толщу. Наличие водоупора предохранило от дренажа воды верхней толщи, однако в случае крупных разрывных нарушений, в депрессионный контур попадал и верхний горизонт. На поверхности исчезли многие карстовые источники, а гидросеть, развитая в пределах выходов карбонатных пород, оказалась подвешенной по отношению к горизонту карстовых вод на многие сотни метров. Там, где верхний водоносный горизонт сохранился, местные гидродинамические условия также претерпели изменения: уменьшился дебит карстовых источников, нарушились условия разгрузки карстовых вод в днищах рек.

В нарушенных условиях возрос уклон поверхности карстовых вод, а также скорость их движения. Депрессионные поверхности в ряде случаев опустились ниже границы активного водообмена (в естественных условиях). В зону карста были вовлечены более глубокие части геологического разреза, относимые при ненарушенном гидродинамическом режиме к зоне затрудненного водообмена.

Существенные изменения карста обусловлены сбросом шахтных вод в водотоки, карстовые суходолы и впадины. Объем поднимаемых на поверхность вод измеряется сотнями кубических метров в час для отдельных шахт и тысячами — для района в целом. К примеру, в 1960 г. водоотлив из шахты № 6 «Капитальная» на западном крыле Главной Кизеловской антиклинали составлял  $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

В результате сброса шахтных вод увеличилась водность небольших карстовых рек. Оказались возможны два случая развития суходолов: сбрасываемые воды сразу или пройдя некоторый путь исчезают под землей, поглощаясь понорами; протекая по закарстованному ложу, они постепенно кольматируют железистой взвесью трещины и поноры. Кроме того, отмечаются и комбинированные случаи.

Таким образом, благодаря откачке и водосливу из шахт вода повторно участвует в развитии карста. В верхнюю карбонатную толщу привносится дополнительное количество во ды, которое, возможно, компенсирует, а в ряде случаев и пре вышает фильтрационные потери верхнего горизонта за счет дренирования вод

выработками. Воды сбрасываются на поверхность и в пределах выходов пород средней карбонатной толщи. В результате шахтного водоотлива в зону активного водообмена поступают воды частично и из зоны затрудненного водообмена. Поглощаясь понорами на дне суходолов, они снова мигрируют по подземным каналам в двух направлениях: часть вод вовлекается в приповерхностный (первые сотни метров) цикл «питание—транзит—разгрузка», особенно в условиях верхней карбонатной толщи, другая же часть движется вниз, заканчивая свой путь у поверхности депрессионного уровня или в водосборном бассейне горной выработки. Шахтный водоотлив можно рассматривать как фактор активизации карста за счет интенсификации гидродинамического режима надугольных карбонатных толщ. Наиболее существенные изменения в развитии карста происходят в верхней (до нескольких сотен метров) зоне, однако в процессы активного карстообразования вовлекаются и более глубокие горизонты толщ.

Изменение гидрохимических условий. В момент поступления в выработки вода по химическому составу мало отличается от карстовой воды, циркулирующей в надугольных известняках. После контакта с некарстующимися породами, особенно с углями, содержащими пирит, она обогащается оксидами железа, сульфатными ионами и свободной серной кислотой. Диссоциация последней предопределяет повышение концентрации водородных ионов, и pH шахтных вод понижается до 2,0. Кислая шахтная вода обычно мутная, бурая, с желтовато-красным оттенком.

После сброса шахтные воды текут по поверхностным руслам, ложбинам стока и суходолам, окрашивая их воду и берега в бурые, желтые и красные тона, контрастно выделяющиеся на фоне лесной зелени и белых известняковых скал. Осаждающиеся гидроксиды железа покрывают прибрежные и донные отложения, колюматрируют трещины, каверны и даже полости. В руслах рек создается противифльтрационный экран, препятствующий поглощению речных вод. Река становится подвешенной. Примерами подобных рек, подвешенных на сотни метров над сдренированным горизонтом карстовых вод, могут служить Кизел, Виашер, Опаленная и др. Многие карстовые речки, имевшие в естественной обстановке водопоглощающие поноры и сухие русла, сохраняют в настоящее время водный поток на всем протяжении долины (Сухой Кизел, Виашер). Значительная часть шахтных вод проникает в закарстованные

горизонты, усиливая растворение пород.

Инфильтрация сернокислых железистых вод в породы изменяет химический состав и агрессивность карстовых вод. Такое изменение отмечено в группе источников района шахты № 6 «Капитальная». Летом 1959 г. вода источников была бесцветной, а через год она помутнела и приобрела желтоватый оттенок [73]. Изменился состав воды — понизились рН и содержание гидрокарбонатного иона, увеличилось количество сульфатов. Вода источников, имевшая в естественных условиях слабощелочную реакцию, гидрокарбонатно-кальциевый состав и минерализацию менее 0,3 г/л, за короткое время превратилась в кислую сульфатно-кальцево-железистую воду с минерализацией до 0,9 г/л. Сернокислые железистые шахтные воды, попадая в реки, существенно изменяют их химический состав.

Наблюдения за изменением химического состава вод источников под влиянием сброса шахтных вод позволили сделать вывод о существовании в карстующихся массивах, даже в зоне горизонтальной циркуляции, обособленных путей движения карстовых вод [73].

Кислые шахтные воды, циркулируя в толще известняков, смешиваются с карстовыми водами, в результате чего изменяется их состав — снижается кислотность, уменьшается количество взвесей и загрязняющих веществ, т. е. происходит их очищение. Главная роль в этом процессе принадлежит карсту: взаимодействие с карбонатными породами повышает щелочность вод, а их движение по трещинам, полостям, кавернам, пещерам способствует осаждению механических взвесей и коллоидов. Сотрудниками ВНИИОСуголь были проведены исследования по выявлению степени очищения шахтных вод в процессе их движения под землей. Вода из шахты «Скальная» сбрасывается в р. Глухую, которая через 6 км поверхностного течения поглощается пещерой и течет на протяжении 7 км под землей, а затем выходит в виде источника на берегу р. Чусовой. По данным Л. В. Печеркиной и других, концентрация закисного железа в воде снизилась с 20—25 мг/дм<sup>3</sup> в месте сброса до 5,6—3,5 на участке поглощения и 0,08—0,02 в источнике, окисного железа — соответственно с 50 до 8,6 и 0,04 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация загрязняющих веществ и кислотность воды уменьшились на участке между местом сброса и местом поглощения в основном в результате разбавления воды поверхностным стоком, а в закарстованном массиве — благодаря возникновению эффекта фильтрации и нейтрализующему действию известняков. При попадании кислых шахтных вод в

подземные полости происходит интенсивная коррозия, сопровождающаяся активизацией карста и химической нейтрализацией вод. Механическая очистка вод от крупных частиц и взвесей приводит к кольматации трещин, каналов, полостей. Растворение и осаждение можно наблюдать непосредственно в пещерах, на участках подземного транзита вод. Так, в ряде пещер Кизеловского района (Желтый Понор) глыбы в русле подземного потока корродированы, осложнены микроформами кислотного выщелачивания. Русла пещерных ручьев часто окрашены, как и на поверхности, в красноватые тона. Многие пещеры и подземные полости, поглощавшие шахтные воды, заполнились железистым осадком и прекратили свое существование, например пещера Золотой Каньон.

Горнодобывающая деятельность приводит к изменению гидродинамической и гидрохимической обстановок развития карста, что способствует как его активизации, так и стабилизации.

### **Антропогенный карст на Верхнекамском месторождении калийных солей**

Условия проявления антропогенного карста. Выемка солей на месторождении осуществляется шахтным способом — с помощью горизонтальных выработок на уровне продуктивной калиеносной зоны. Последняя состоит из нескольких пластов, из которых рабочими являются два. Пласты залегают на глубине от 130—150 до 350—400 м соответственно тектонике соляного тела.

Добыча калийных солей осуществляется на восьми рудниках, расположенных в пределах застройки и окрестностей городов Березники и Соликамск. После добычи солей под землей остается правильная сеть выработок, ширина и высота которых в зависимости от назначения изменяется от 3—5 до 7—8 м. В соляной толще, несмотря на ее пластические свойства, встречаются наряду с залеченными открытые трещины. Они представляют опасность как возможные пути поступления в выработки надсолевых вод. При этом происходит коррозионное расширение трещин и образование в покровной соляной толще карстовых пустот.

Растворяющее действие на стены и своды горных выработок оказывают конденсационные воды. Стекая по стенкам, они насыщаются солями и превращаются в конденсационные рассолы.

С ними, в частности, связано образование соляных сталактитов, кристаллов и других вторичных форм.

Наличие в толще солей искусственных полостей вызывает изменение напряжения в перекрывающих породах (солях, мергелях и др.), сопровождающееся разуплотнением, расслаиванием, образованием трещин, обвалами сводов выработок. Эти процессы активно происходят на участках, где выемка солей осуществляется методом податливых целиков. При его использовании ширина межкамерных целиков уменьшается по сравнению с добычными камерами, что ведет к увеличению нагрузки на них и сравнительно быстрому их раздавливанию. В процессе деформации сводов выработок в кровной толще расширяются и вновь образуются трещины. Они распространяются вверх на десятки метров и при совпадении ряда обстоятельств, например, развитии по ослабленной зоне в толще солей до рассольного горизонта, могут в течение короткого времени превратиться в водопроводящие пути, способствующие формированию крупных карстовых полостей. Наличие ослабленной зоны, обусловленной соляной тектоникой и тектоническими движениями, развитие трещинной проницаемости от свода выработки до надсолевых вод в этой зоне явилось причиной аварии на одном из подземных участков Березниковского калийного рудника № 3.

**Затопление рудника и возникновение провала.** В начале января 1986 г. в одном из блоков 4-й западной панели были обнаружены струи рассола из кровли выработки. На протяжении января и февраля приток рассола увеличивался и в конце февраля превысил 100—120 м<sup>3</sup>/ч. В начале марта водопиток катастрофически быстро нарастал и за несколько дней достиг 2000 м<sup>3</sup>/ч. В условиях аварийной ситуации добыча солей на руднике была прекращена. По данным Н. В. Кузнецова и А. Н. Котельникова, к концу июня все выработанное пространство шахтного поля было заполнено рассолами, общий объем которых составил 16 млн. м<sup>3</sup>. При производстве буровых работ над затопленным шахтным полем неоднократно отмечались случаи провала бурового инструмента, выхода через скважины горючего газа или тяги воздуха.

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 послойного обрушения пород соляно-мергельной, а

затем терригенно-карбонатной толщи. В процессе растворения солей в полости накапливался 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. Взрыв обусловил световую вспышку и выброс обломков за пределы провала на расстояние до нескольких сотен метров. Взрыв газа был вызван, по-видимому, искрением, возникшим при ударе скальных обломков или металлических труб скважины № 10, располагавшейся внутри контура обрушения. Некоторое время жерло провала было окутано сизой дымкой (газ, водяной пар), из-за которой было невозможно рассмотреть днище провала.

Первые измерения показали, что глубина образовавшейся впадины до обрушенных пород достигла 160 м, а до выработок — более 400 м (рис. 60). Диаметр провальной трубы на уровне скальных пород пестроцветной толщи 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 толще.

**Эволюция провала.** С момента возникновения впадина продолжает заполняться отложениями, слагающими ее борта. В вертикальном разрезе провала выделяются две части: верхняя, с оползневыми склонами, и нижняя — в толще уфимских пород — с вертикальными обрывистыми бортами высотой 20—25 м над уровнем воды (рис. 60). Развитие впадины проявляется в перемещении вниз (оплывины, оползни, эрозионный размыв и площадной смыв) рыхлых песчано-суглинистых пород флювиогляциальной толщи, а также скальных и полускальных пород пестроцветной толщи (обвалы).

С 1988 по 1990 г. произошло существенное уменьшение глубины впадины. В марте 1988 г. Максимальная глубина, водоема в ней составляла 109,5 м, минимальная — 72 м. Северный борт впадины оказался очень крутым, но не отвесным, в отличие от южного. За 3 года, прошедших с начала наблюдений, глубина водоема (и впадины, соответственно) уменьшились на 15—30 м. Наибольшая глубина водоема в декабре 1990 г. равнялась 77,5 м. Изменился рельеф днища: в 1988 г. на фоне неровностей выделялись две впадины — в северо-западной и юго-восточной частях — глубиной более 100 м. В конце 1990 г. днище представляло собой относительно ровную площадку, наклоненную с северо-запада на юго-восток, на глубине соответственно от 58 до 77,5 м.

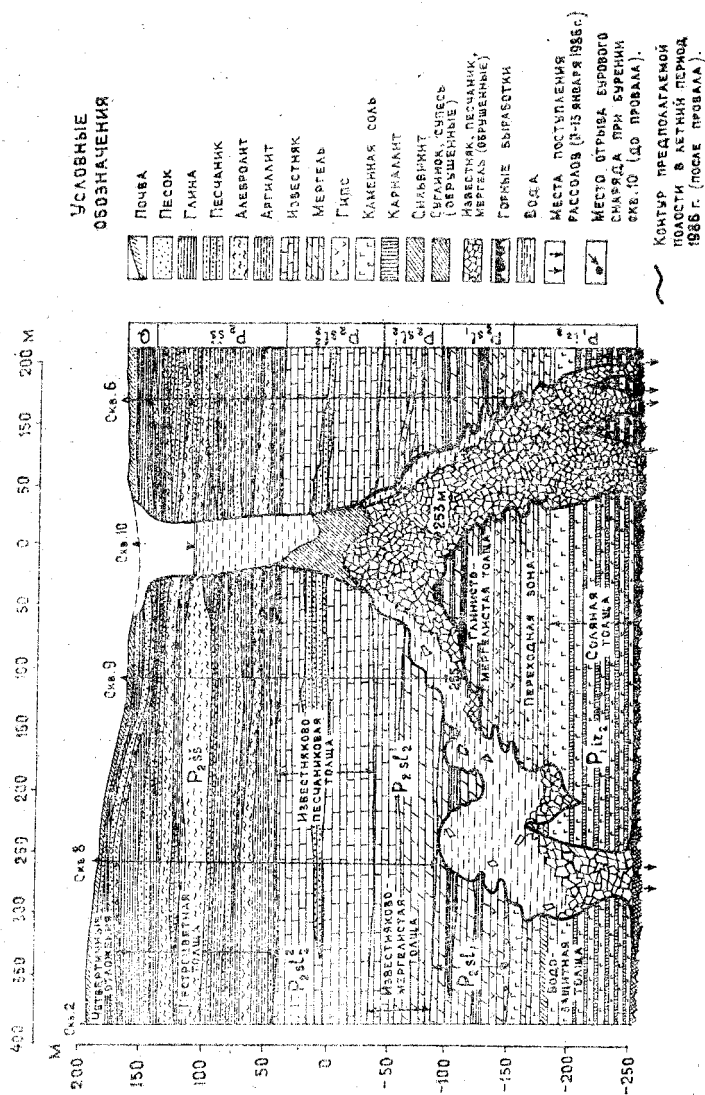


Рис. 60. Провальная впадина на шахтном поле БКРУ-3



Преимущественное накопление материала в северо-западной части впадины связано с эрозионной деятельностью ручья, впадающего в провал и размывающего рыхлые породы флювиогляциальной толщи.

Накопление отложений во впадине связано с сезонными условиями (рис. 61). Более интенсивно оно происходит в теплый период, когда активны различные геодинамические процессы — эрозия, оползни, обвалы и др.

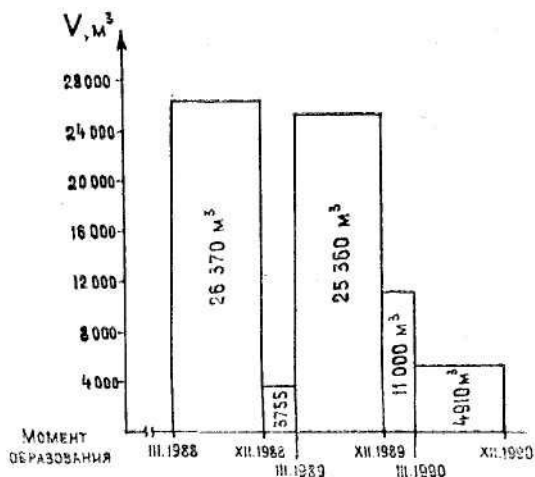


Рис. 61. Динамика накопления отложений в провале в 1988—1990 г.

В холодное время года (ноябрь—март) процессы приповерхностного разрушения затухают. В это время донные отложения формируются главным образом за счет обвалов в бортах обводненной части провальной трубы ниже уровня льда.

За 4 года с момента образования увеличилась площадь впадины. Ее диаметр на уровне поверхности возрос 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 120 — по длинной. Соответственно изменилась площадь водного зеркала (рис. 62).

В марте 1988 г. в водоеме были отобраны пробы воды с разных глубин. Выяснилось, что с глубиной минерализация воды постепенно увеличивается от  $0,3 \text{ г/дм}^3$  у поверхности до  $0,9\text{—}1,1 \text{ г/дм}^3$  на глубине, а pH уменьшается от 7,9 до 7,2.

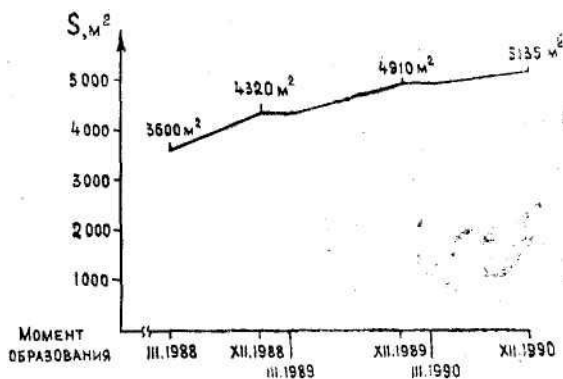


Рис. 62. Динамика площади провального водоема в 1988—1990 г.

Водная толща оказалась расслоенной на 2 части: верхнюю, до глубины 15—20 м, и нижнюю, значительно большую, до дна (рис. 63). Воды верхней части имеют гидрокарбонатный состав, а нижней — хлоридный. Преобладание в верхней части водной толщи гидрокарбонатов объясняется притоком во впадину талых, дождевых, грунтовых вод, а также подземных вод пестроцветной толщи. К началу 1989 г. отмечалось уменьшение минерализации воды по всему разрезу: в приповерхностной части она составила 0,2—0,3 г/дм<sup>3</sup>, в нижней — от 0,3 до 0,8 г/дм<sup>3</sup>. Эти же значения и закономерность их изменения сохранились до конца 1990 г. Наименьшая у поверхности минерализация растет по мере углубления до 20—30 м, затем колеблется в интервале глубин 20—30—50—60 м в пределах 0,4—0,7 г/дм<sup>3</sup>, а у дна снова увеличивается, достигая максимальных значений. (0,8 г/дм<sup>3</sup>). Сохраняется преобладание гидрокарбонатного иона до глубины 20 м и иона хлора — до дна. В гидродинамическом отношении водная толща вовлечена в местный водообмен.

Наблюдения за динамикой провальной впадины показывают, что она будет развиваться еще длительное время, несмотря на относительную стабилизацию водного режима.

**Условия проявления карста в отходах добычи и переработки калийных солей.** Твердые галитовые отходы обогатительных фабрик складировались на поверхности земли в виде насыпей — отвалов. Высота насыпей достигает 50—80 м, площадь — десятков гектаров, объем — десятков и сотен миллионов кубических метров.

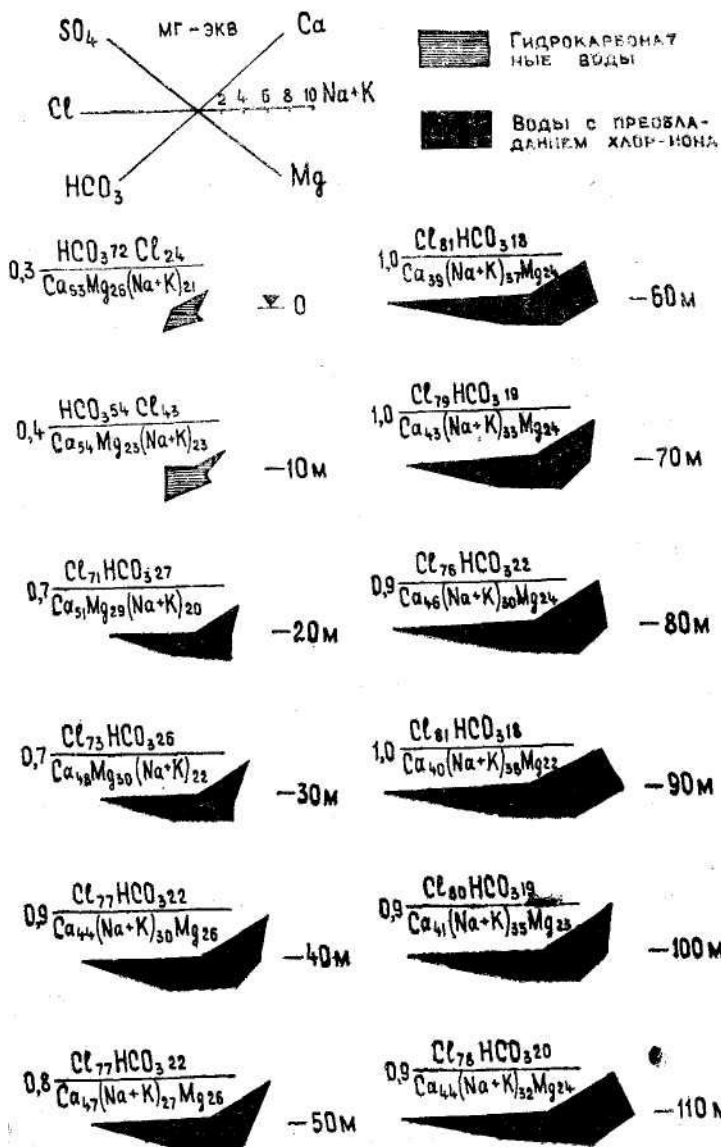


Рис. 63. Химический состав и типы вод провала на наиболее глубоком участке (март 1988)

Солеотвалы представляют собой искусственные массивы легкорастворимых галитовых отходов. В результате воздействия атмосферных осадков и влаги на поверхности солеотвала и в нем самом активно развиваются карстовые процессы. Формирующиеся при этом рассолы мигрируют в толще отвала по направлению к основанию склонов. Частично они фильтруются в подстилающие отвал породы, что приводит к загрязнению грунтовых вод.

Материалом солеотвалов являются крошка соляных пород, чешуйки глины и различные включения в соли. В состав твердых солевых отходов входят  $\text{NaCl}$  (95,0%),  $\text{KCl}$  (1,5—2,0),  $\text{MgCl}_2$  (0,1),  $\text{CaSO}_4$  (2,0), нерастворимый остаток (1—1,5).

Гранулометрический состав отходов зависит от степени измельчения руды. После отсыпки происходит слияние и укрупнение частиц в результате гравитационного уплотнения отвальных масс и перекристаллизации солей. Свежеотсыпанный материал имеет светло-серую и пеструю окраску. Со временем он темнеет вследствие растворения светлых соляных зерен и накопления темных глинистых частиц.

Свежие галитовые отходы содержат от 8 до 22% (весовых) первичной влаги. Влага представляет собой хлоридно-натриевый рассол с минерализацией 360—375 г/л.

В результате уплотнения влажный рыхлый отвальный материал цементируется в плотную полуминеральную соляную породу с зернистой текстурой. Пористость свежеотсыпанного материала составляет 40—45%, а в основании отвала — 0—2%. Плотная рассолонепроницаемая зона в основании солеотвалов образуется благодаря дегидратации отходов под действием силы тяжести, уплотнению отходов под влиянием собственного веса, развивающимся во времени процессам пластической деформации, физико-химическим процессам, протекающим в поровом растворе [81]. В солеотвалах формируются три зоны: слабоуплотненных, среднеуплотненных и сильноуплотненных пород. В результате уплотнения пород происходит их усадка на 15—20% от начальной высоты отвала. Наиболее интенсивно материал уплотняется в первый год. Постоянное пополнение отвала свежим материалом, происходящее одновременно с уплотнением, различие свойств материала, залегающего в разных его частях, обуславливают развитие валов выдавливания по контуру и возникновение оползней объемом до 100—800 тыс. м<sup>3</sup>.

В солеотвалах образуются рассолы отжатия, вторичные и конденсационные. Рассолы отжатия выделяются из свежеотсыпанной массы при уплотнении солеотвала. Этот процесс наиболее активно протекает в первые месяцы после отсыпки, а затем замедляется в связи с обезвоживанием материала и частичным переходом растворенных солей в кристаллизационную форму. С возрастанием нагрузки количество отжимаемого рассола увеличивается. По данным Г. А. Колпашникова, В. П. Клементьева, Ю. П. Еременко,  $1 \text{ м}^3$  солеотходов выделяет при уплотнении  $0,089 \text{ м}^3$  рассола с минерализацией до 300 г/л. Рассолы отжатия распространены вблизи фронта отсыпки. В случае значительной мощности свежеотсыпанной толщи они проникают вглубь, достигая основания (экрана) солеотвала.

Вторичные рассолы образуются в результате растворения солей атмосферными осадками. Их количество рассчитывается по соотношению объемов выпадающих осадков и испарившейся жидкости с солеотвала. Так, в районе г. Березники среднегодовой слой осадков составляет 695 мм, а слой испарения, по данным С. М. Роткина, Е. Я. Алексеенко и С. П. Вострцова, 150—180 мм. Это значит, что в солеотвал ежегодно попадает 515—545 мм, или 74—79% всего слоя осадков. В отвале дождевые воды насыщаются солями. Вследствие этого объем вторичных рассолов увеличивается примерно на 25%, что приблизительно соответствует объему испарившейся влаги (не поступившей в отвал). С. П. Вострцов считает, что количество образующихся вторичных рассолов можно принять равным объему выпавших на отвал атмосферных осадков.

Конденсационные рассолы, по С. М. Роткину, Е. Я. Алексеенко и другим, образуются в результате конденсации атмосферной влаги при колебании температуры и влажности воздуха. Установить значение конденсационных процессов в формировании рассолов достаточно сложно.

Крупная зернистость, трещиноватость (уплотнения, выветривания, разгрузки), первичная рыхлость материала обуславливают высокую водопроницаемость отвалов на значительную глубину в отличие от естественных выходов солей, водонепроницаемых из-за структурных свойств, пластичности, отсутствия трещин. В связи с этим на поверхности отвалов формируется карстовый мезорельеф, отличающийся от коррозионного микрорельефа естественных выходов соляных пород. Водопроницаемость, растворимость

материала, наличие нерастворимых примесей и неоднородность отвалов определяют условия проникновения атмосферных осадков и образования в них гидродинамических зон поверхностного движения воды, аэрации и горизонтальной циркуляции.

Большую часть вертикального разреза отвалов занимает зона аэрации, характеризующаяся высокой водопроницаемостью, особенно в верхней — закарстованной — части. Она делится на две подзоны: вертикального перемещения растворенных веществ и нерастворимых включений, мощностью 2—7 м, и аккумуляции (вмывания) нерастворимого материала, образующего маломощный обогащенный глиной прерывистый пласт. Пласт является относительным водоупором, по которому часть атмосферных осадков стекает к подножию склона. В присклоновых частях отвалов, на глубине 1—5 см от поверхности, в результате испарения влаги возникает плотная соляная корка толщиной до 1 см. Зона аэрации соответствует интервалу среднеуплотненных пород. Следует учитывать обусловленные карстом фильтрационные различия среды. Так, дождевые капли, попадая в отверстия карстовых поноров, труб, колодцев, пронизывают первые 1—10 м толщи в течение нескольких секунд. Остальная влага также быстро стекает ручейками вниз по вертикальным стенкам карстовых форм. Однако, достигая подзоны накопления глинистого материала, влага задерживается на ней, а затем частично испаряется. На участках, где отсутствует свежотсыпанный материал и поверхность отвалов закарстована, подзона аккумуляции является основным испарительным барьером для атмосферных осадков. Вследствие этого на темно-серых стенках карстовых форм наблюдаются белые выцветы солей.

Зона горизонтальной циркуляции вод (рассолонасыщенная зона) располагается в нижней части отвалов. Ее формирование в значительной степени предопределено наличием в основании солеотвалов сильноуплотненных пород. По некоторым оценкам мощность рассолонасыщенной зоны достигает 30—40% всей высоты солеотвала. Движение рассолов направлено к периферии отвалов со скоростью до 1—2 м/сут, где они разгружаются в виде источников. Частично рассолы фильтруются в отложения, залегающие в основании отвалов. Дебит источников изменяется от 0,1 до 5,0 л/с и более. Соль облагается в местах выхода источников на поверхности в виде «туфовых» плотин, а в полостях — в виде натечных соляных агрегатов. Интересны формы выщелачивания вторичных отложений.

Скорость фильтрации рассолов в подстилающие отложения определяется водопроницаемостью последних, наличием или отсутствием искусственного экрана, нарушением его целостности, рельефом ложа. По оценке С. П. Вострещова, интенсивность фильтрационных утечек в основание солеотвалов может достигать 3—4 тыс. м<sup>3</sup> в год с 1 га, или сотен тысяч кубических метров — со всей площади. При определении объема веществ, удаляемых ежегодно в растворенном состоянии с отвалов, учитываются размеры отвальных масс, количество выпадающих и испаряющихся осадков, число и дебит источников, объем фильтрационных потерь. Объем солей, выносимых с 1 га площади солеотвала, может превышать 2 тыс. т [81].

**Карстовые формы солеотвалов.** В отвалах образуются поверхностные и подземные карстовые формы. Поверхностные формы связаны в основном с движением воды по поверхности и в зоне аэрации. Они представлены отрицательными (карровые углубления, колодцы, трубчатые образования, рвы, воронкообразные углубления, ложбины) и положительными (карровые гребни, выступы, останцы) разновидностями.

Среди отрицательных форм преобладают вертикальные цилиндрические углубления, размеры которых зависят от возраста закарстованной поверхности. На отдельных участках старого отвала Березниковского калийного рудника № 4 диаметр вертикальных колодцев достигает 1—1,5 м, глубина — 10 м. С глубиной они сужаются. Трубы, колодцы со временем соединяются, образуя более крупные формы, над которыми возникает воронкообразная впадина, переходящая книзу в одну или несколько отвесных труб. При значительных площади и возрасте участка появляются карстовые формы разных уровней — карры, трубчатые образования, воронки, переходящие в колодцы, сливающиеся в каньоны, рвы. Карстовый рельеф эволюционирует в направлении смены мелких форм более крупными. Останцовые формы связаны с остатками конвейерных транспортных линий (куски металла, резины, шифера), которые изолируют участки на поверхности отвалов от воздействия осадков и растворения. Сопоставив время, прошедшее после прекращения функционирования отсыпających конвейеров, и высоту останцев, можно определить скорость карстовых процессов на поверхности отвалов: за десятилетие их поверхность снижается на 0,2—0,5 м, что соответствует 20—50 мм/год.

Показатель скорости процессов растворения указывает на наличие внутри отвалов значительных по размерам пустот. В настоящее время обследованы лишь небольшие пещеры по периферии отвалов, в местах выхода на поверхность карстовых источников [7]. Они представляют собой небольшие каналы, возникающие под растворяющим и эрозионным действием подземных потоков. Длина одной из обследованных пещер в отвалах БКРУ-2 около 30 м (рис. 64). Подземный ручей фиксируется на поверхности провальными воронками, коррозионными окнами. Пещерный канал пройден на расстояние 25 м. Его ширина изменяется от 0,5 до 1,5 м, высота — от 0,7 до 2,0 м. Значительная часть пещеры разрушена. На ее месте остались небольшие русла, фрагменты подземного канала, неправильной формы впадины с неровными краями. Стенки и своды подобных пещер неустойчивы, при последовательном вскрытии сводов они преобразуются в карстово-эрозионные рвы. В случае формирования подземным ручьем нового русла пещеры превращаются в водосборники и русла периодического стока.

В местах выхода подземных водотоков на поверхность (карстовые источники) часто возникают гроты. В их сводах иногда можно увидеть небольшие, длиной до 15—20 см, соляные сталактиты. Гроты могут достигать нескольких метров в высоту и ширину. Как правило, они образуются в результате обрушения сводов. Обвальный материал размывается и растворяется вытекающим из подземного канала ручьем. Ширина каналов, уходящих в глубь солеотвалов, колеблется от 0,3 до 1,0 м, высота — от 0,1 до 0,5 м. Каналы более значительных размеров, несомненно, существующие в основании отвала, не обнаружены. Формирование здесь каналов стока рассолов и их сохранение возможно благодаря полускальному характеру породы, а также — многочисленным неровностям ложа. Последние могут иметь естественное происхождение, однако чаще связаны с эрозионным расчленением слоя суглинков, укладываемого в качестве противофильтрационной защиты. За отрезок времени от сооружения защитного экрана до его перекрытия слоем складываемых отходов дождевые осадки успевают создать на его поверхности сеть борозд глубиной до 0,2—0,6 м (до защитной пленки), направленных в соответствии с общим уклоном рельефа. Впоследствии линейные неровности локализуют сток под отвалом по сети подземных каналов.

В связи с протеканием карстовых процессов внутри отвальных массивов размеры полостей непрерывно увеличиваются. Со временем



это может привести к обрушению их сводов.

Растворение материала и вынос солей за пределы отвалов способствуют формированию вокруг них зоны засоления, вы тянутой по направлению движения грунтовых вод.

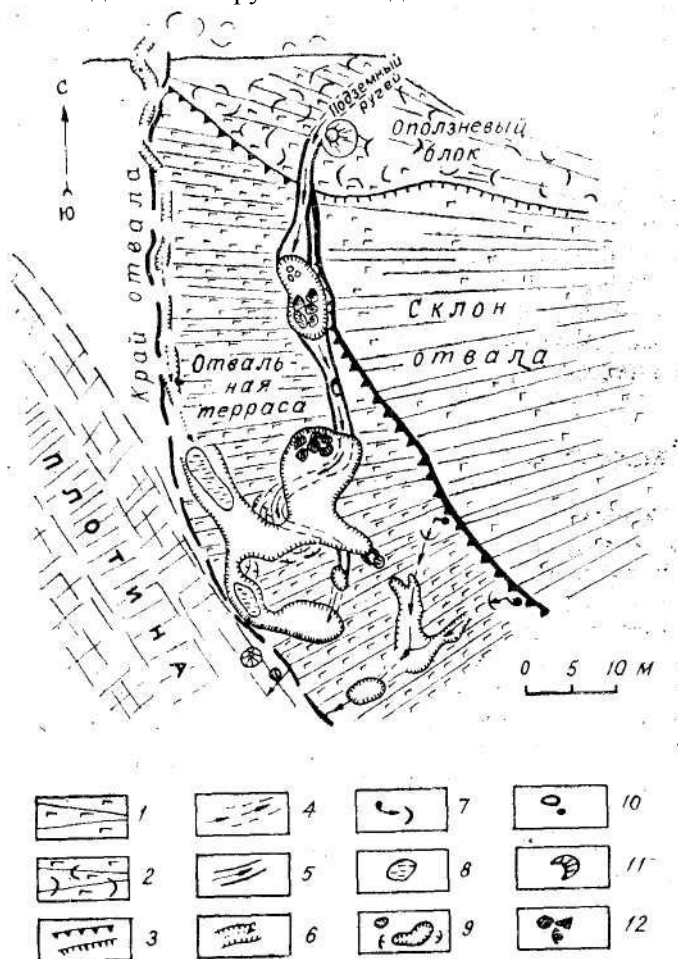


Рис. 64 Пещера в прибортовой части солеотвала БКРУ-2 1- глинисто-соляной отвал, 2-деформированные глинисто-соляные породы, 3 - отвальный и оползневый уступы, 4 -подземный ручей 5- обсле дованная часть подземного канала, 6 - русло времен ного ручья 7 —источник и понор, 8 —соленое озеро, 9 -провал и провальнo-эрозioнная впадина с трещи нями в бортах 10 — коррозионное окно, 11- просадоч ная воронка, 12 - блоки обрушенных пород (по В. Н. Андрейчуку)

По мере закарстования этот процесс усиливается. В понижениях, прилегающих к подножию отвалов, образуются озера с соленой водой, в которых происходит садка солей. Соляные озера вместе с питающими их ручьями также являются источниками загрязнения грунтовых вод территорий, прилегающих к отвалам.

Мероприятия по борьбе с карстом соляных отвалов, засолением поверхностных и грунтовых вод должны носить комплексный характер. К ним относится ликвидация отвалов путем закладки выработанных подземных пространств солеотвальной породой, а также разработка отвалов в качестве полезных ископаемых. Опыт такого использования солеотвалов имеется в ряде стран.

### **Гидротехническая деятельность и ее влияние на карст**

**Гипсоносные породы как основания плотин.** Возведение плотин и создание, водохранилищ на реках в районах, сложенных гипсоносными породами, сопровождается специальными инженерно-геологическими исследованиями [31]. Одним из неблагоприятных условий строительства гидротехнических сооружений является наличие в их основании гипса. Возведение водоподпорных сооружений приводит к изменению гидродинамического режима, появлению в массиве вод, недонасыщенных сульфатом кальция. Это создает условия для растворения гипса. Активизация карста может быть также связана с увеличением трещиноватости вследствие фильтрационных деформаций, выветривания пород в процессе строительства; определенную роль играет увеличение растворимости пород под действием нагрузки сооружения. Растворение гипса, содержащегося в дисперсных породах, может повлечь за собой суффозионные явления.

При наличии в основании плотины гипса в ряде случаев отказывались от ее сооружения. Например, в Провансе (Франция) в процессе строительства котлована были вскрыты гипсоносные мергели, в результате работы были остановлены. Прекращены изыскания, связанные с сооружением плотины Риан (Франция) и плотины в местности Альтер Штольберг (Германия), в зону основания которых входили гипсы. Остановлено строительство небольшой ГЭС на р. Ирень в Пермской области [113]. В Ираке одной из причин отказа от выгодного в топографическом отношении створа Фатха послужило содержание в породе до 60% гипса и ангидрита. Некоторыми исследователями вообще отрицается возможность

строительства на гипсоносных породах [113].

В ряде случаев строительство плотин на гипсоносных породах приводило к катастрофам и авариям. Например, одной из причин разрушения плотины Сент-Френсис (Калифорния, США) высотой 63 м явилось растворение гипса в глинистых конгломератах основания. В окрестностях Базеля на р. Бирс растворение пластов гипса в основании плотины вызвало ее растрескивание и оседание. Известны случаи потери воды из водохранилищ, когда небольшие плотины имели в основании гипсоносные породы — на р. Осе в бассейне р. Ангара, в США, штатах Оклахома и Нью-Мексико. Проблема защиты гипса от растворения возникала при создании Ереванской ГЭС на р. Раздан, плотины Брентли (Нью-Мексико, США), ряда плотин Ирака. Вопрос о надежных противифльтрационных мероприятиях по защите гипса в основании стоял при проектировании Ирганайской, Нижне-Кафирниганской, Рогунской плотин.

Приведенные примеры показывают, что при строительстве плотин на гипсоносных породах необходимы тщательные инженерно-геологические изыскания для обоснования противифльтрационных мероприятий по защите гипса.

**Защита гипса от растворения в основании Камской ГЭС.** Гидроэлектростанция построена в 1954 г. ниже впадения в р. Каму р. Чусовой и в настоящее время находится в черте г. Перми. Расчетный напор плотины 21 м, ее длина 2,5 км. Водосливная бетонная гидроэлектростанция длиной около 400 м расположена в русле реки около ее правого крутого берега [125]. Створ плотины находится на северо-восточном крыле Краснокамского вала Косьвинско-Чусовской седловины. Породы падают моноклинально на юг вниз по течению реки.

В зону влияния сооружения входят шешминокий и соликамский горизонты уфимского яруса верхней перми, залегающие на иренском горизонте кунгурского яруса нижней перми (рис. 65). Четвертичные отложения в основании бетонной плотины отсутствуют. Шешминский горизонт сложен фацциально изменчивыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами, которые ниже сменяются породами Соликамского горизонта — известняками, мергелями, доломитами с линзами гипса. В породах шешминского горизонта развиты крутопадающие трещины, простирающиеся параллельно направлению долины реки. Наиболее трещиноваты песчаники и известняки, в меньшей степени — более глинистые разности пород, в которых развиты волосяные трещины. Вниз по разрезу трещиноватость уменьшается.

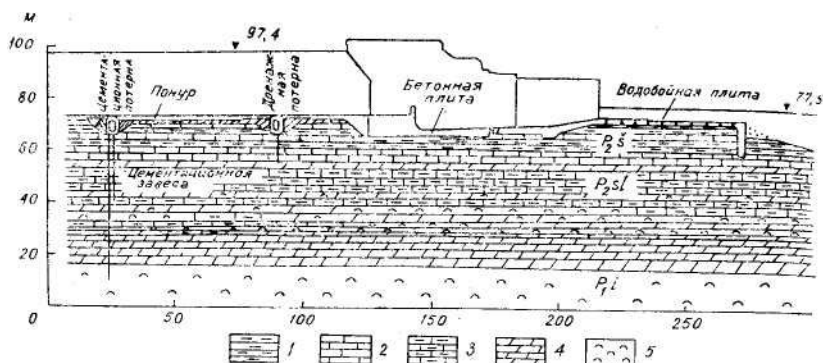


Рис. 65. Геологический разрез основания Камской ГЭС (схематизированный): 1 — аргиллит, 2 — известняк, 3 — мергель, 4 — доломит, 5 — гипс, ангидрит (по Г. К. маменко)

Породы Соликамского горизонта разбиты меридионально простирающимися трещинами, имеются локальные участки с высокой степенью трещиноватости, которая уменьшается в направлении погружения пластов пород. В обоих горизонтах отмечена горизонтальная трещиноватость.

Иренский горизонт состоит из гипсово-ангидритовых и известняково-доломитовых пачек. Самой верхней является лунежская пачка гипсов и ангидритов. В районе створа плотины эти отложения перекрыты некарстующимися слабоводопроницаемыми породами значительной мощности, что препятствует развитию карста.

Севернее, в районе Чусовского мыса Камского водохранилища, в 400—600 м от створа плотины, иренский горизонт залегает на небольшой глубине. До создания водохранилища гипсы обнажались в нижней части крутого камского берега.

Породы основания Камской ГЭС исследовали А. А. Турцев, А. М. Кузнецов, Д. П. Прочухан, Г. К. Маменко [126, 127] и др. Непосредственно под плотинной залегают песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки шешминского горизонта мощностью 5—10 м. Наиболее распространены аргиллиты, реже — алевролиты. Известняки и песчаники имеют подчиненное значение. Ниже по разрезу развиты преимущественно карбонатные породы Соликамского горизонта мощностью 40—45 м. Условно они разделены на 6 пластов.

Первый, верхний, пласт мощностью 4—5 м состоит из плитчатого окремнелого, мелкозернистого, плотного известняка, с редкими

вкраплениями агрегатов более крупных кристаллов кальцита. Местами встречаются выделения кальцита в форме раковин. Изредка попадаются кристаллики дисперсного гипса и мельчайшие зерна пирита. Известняк пронизан редкими, но сравнительно крупными порами. Пласт содержит прослой доломита, гипса. Второй пласт — доломит мощностью 2,5—3,5 м — включает прослой мергеля, гипса. Третий пласт составляют мергели (6—8 м), содержащие прослой гипса толщиной до 1 см. Четвертый пласт — переслаивающиеся глинистые доломиты, мергели, с прослоями и линзами гипса — имеет мощность 11—19 м. Пятый пласт — тонкослоистые глинистые доломиты мощностью около 9 м — характеризуется наличием пор до 1 мм, которые местами заполнены доломитовой мукой и гипсом. Шестой пласт — полосчатые доломиты мощностью около 3,5 м, содержащие дисперсный гипс.

Залегающие ниже ангидриты лунежской пачки иренского горизонта являются водоупором. В долине р. Камы ангидриты в кровле подверглись гидратации и превратились в гипс. Породы основания загипсованы в различной степени: менее всего — породы шешминского горизонта (табл. 10), в которых гипс, как правило, находится в рассеянном (дисперсном) состоянии и невидим невооруженным глазом. Под электронным микроскопом в аргиллите и алевролите выявлены удлиненные кристаллы плохой сохранности. Реже встречаются кристаллы размером до нескольких сантиметров.

В сульфатно-карбонатной толще Соликамского горизонта содержание гипса увеличивается вниз по разрезу. Наиболее загипсованы доломиты (рис. 66). Чаще всего встречаются прослой волокнистого гипса мощностью от долей миллиметра до 0,5 м. Количество их значительно, например, на 10 см керна может насчитываться до 50 слоев. Рассеянный гипс представлен микроскопическими кристаллами и их сrostками, гнездами и линзами, образованными беспорядочно ориентированными кристаллами с примесью вмещающих пород.

Гидрогеологические условия основания плотины изменились после строительства и в процессе эксплуатации ГЭС. Намечается три периода с различным режимом подземных вод: до создания водохранилища (1954 г.); с 1954 г. до конца 70-х гг., когда изменилась гидродинамическая обстановка в условиях существования плотины и работы противофилт рациональных устройств; с начала 80-х гг., когда меняются гидрогеологические условия после доуплотнения цементационной завесы силикатным раствором

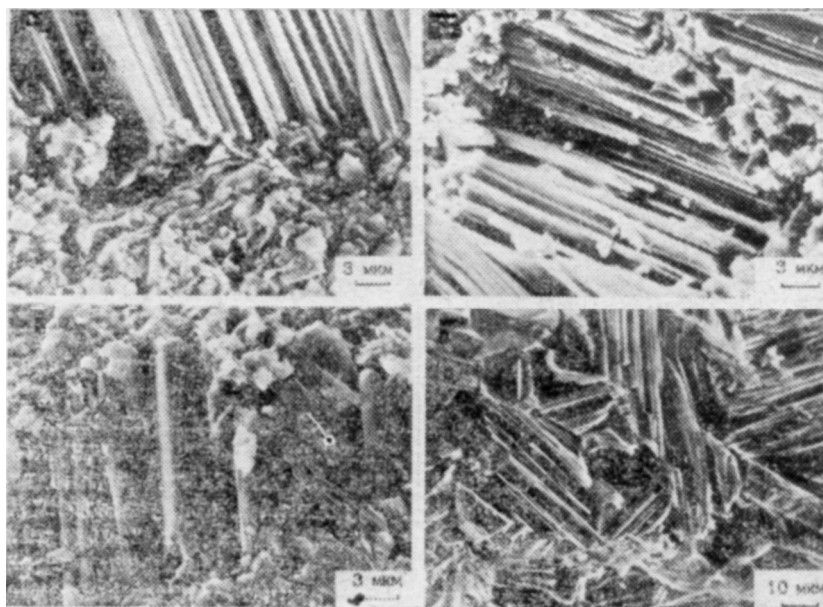


Рис. 66. Гипс в породах Соликамского горизонта: А — контакт гипса-селенита с доломитовым мергелем; Б, В - включения гипса в доломитовом известняке; Г - гнезда гипса в доломитовом мергеле; А Г - перпендикулярный и Б, В, - параллельный напластованию скол (микро электронная фотография)

Породы в основании ГЭС содержат три водоносных горизонта шешминский, верхнесоликамский и нижнесоликамский Шешминский водоносный горизонт приурочен к менее глинистым разностям пород. Водоупором служит слой аргиллитов, залегающий в нижней части разреза. В естественных условиях этот горизонт имел напор, который устанавливался на уровне реки. Породы хорошо проницаемы по направлению вдоль реки, менее проницаемы - в направлении поперек реки, весьма трудно проницаемы в вертикальном направлении. Воды этого горизонта имели сульфатно-кальциевый и сульфатно-натриевый состав, минерализацию 0,3-0,4 г/л - в верхней и 4-7 г/л - в нижней части.

## Содержание гипса в породах основания Камской ГЭС

Порода (возраст)	Мощность пласта, м	Форма распространения гипса	Среднее содержание гипса, % по весу
Аргиллит и песчаник ( $P_{2s}$ )	5—7	Дисперсный, отдельные кристаллы до 5 мм	1,3
Известняк плитчатый ( $P_{2sl}$ )	4—5	Дисперсный	2,0
Доломит ( $P_{2sl}$ )	2,5—3,5	Мелкие включения, прослои до 0,5 м	15,9
Мергель известковистый ( $P_{2sl}$ )	6—8	Дисперсный, заполнитель трещин	3,1
Мергель и доломит гипсоносные ( $P_{2sl}$ )	11—19	Прослои, линзы суммарной мощностью около 9,5 м	35,2
Доломит глинистый ( $P_{2sl}$ )	9,0	Дисперсный	4,9
Доломит полосчатый ( $P_{2sl}$ )	3,5	Дисперсный	12,6
Гипс ( $P_{1i}$ )	5,0	Пласты	100

Верхнесоликамский водоносный горизонт в плитчатых известняках и доломитах и известковистых мергелях является напорным. Водоупорной кровлей служат шешминские отложения, водоупорной подошвой — пласт гипсоносных мергелей и доломитов мощностью 11—19 м. Эти породы водоупорны только в районе створа плотины на протяжении 1,5—2 км. В верхнем и нижнем бьефе верхнесоликамский горизонт сливается с нижнесоликамским. Неоднородная обводненность и наличие зон сосредоточенной фильтрации обусловили разнообразие химического состава подземных вод на сравнительно небольших участках. Здесь встречаются гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные воды с минерализацией от 1,3 до 87 г/л.

Нижнесоликамский горизонт, приуроченный к глинистым доломитам, также напорный. Положение уровней в этом и вышележащем горизонте на 1—3 м выше уровня реки. Водоупорная кровля горизонта — гипсоносные мергели и доломиты, водоупорная подошва — толща гипсов и ангидритов. Горизонт имеет неоднородное строение. Воды представляют собой сероводородные рассолы, насыщенные сернокислыми солями кальция и магния, с

высокой концентрацией хлоридов кальция и магния. В них отмечается наличие брома, йода, аммония, азотно-метановых газов. В формировании химического состава этих вод принимали участие рассолы, мигрирующие по трещинам из более глубоких горизонтов. Температура верхнесоликамского и нижнесоликамского водоносных горизонтов составляет 6—7°, шешминского — 3—13°.

При проектировании Камской ГЭС рассматривались различные варианты защиты гипсоносных пород от растворения. Исходя из особенностей гидрогеологических условий, в районе створа были признаны целесообразными мероприятия направленные на сохранение естественной гидрохимической обстановки. С этой целью сооружены водонепроницаемый понур в верхнем бьефе протяженностью 110 м, цементационная завеса в начале понура и вертикальный глубинный дренаж примерно в его середине (рис. 65).

После строительства плотины в основании Камской ГЭС существенно изменились гидродинамические и гидрохимические условия. Создание водохранилища вызвало изменение напора подземных вод и фильтрацию из него пресных вод в основании сооружения. Определенное влияние на изменение условий оказали периодическое включение дренажа, уменьшение во времени эффективности цементационной завесы, внедрение в массив большого количества цементного отжима при создании завесы, течи в потернах, микробиологические процессы.

Режимные гидрохимические и гидродинамические наблюдения показали, что в основании ГЭС начали развиваться процессы опреснения подземных вод, которые обычно активизируют процессы растворения гипсоносных пород. Эти процессы протекают достаточно медленно. Предусмотренные проектом противофильтрационные мероприятия — цементационная завеса и дренаж — оказались недостаточно эффективными. В создавшихся условиях встал вопрос об уплотнении цементационной завесы. Доуплотнению, начатому в конце 1974 г., подверглась ее русловая часть.

Для инъекционного закрепления был предложен разработанный в проблемной лаборатории геологического факультета московского университета С. Д. Воронкевичем и Л. А. Евдокимовой гелеобразующий щавелевоалюмосиликатный раствор. Использование силикатного раствора для тампонирувания трещиноватых грунтов в основании плотины осуществлено впервые в отечественной практике [31, 125].



Тампонажный эффект достигается за счет образования геля из коллоидного раствора (золя) после его внедрения в массив путем инъекции. Высокая проникающая способность раствора обеспечивается его низкой вязкостью. Установлено, что при взаимодействии гипса с щавелевоалюмосиликатным раствором на его поверхности образуются труднорастворимые химически устойчивые соединения, препятствующие дальнейшему растворению гипса. После доуплотнения завесы коэффициент фильтрации ее уменьшился в несколько раз. Постинъекционные процессы, возникающие при силикатизации водонасыщенных трещиноватых гипсоносных пород, обеспечивают сохранность гипса и эффективность завесы, возрастающую во времени, что повышает устойчивость плотины. Опыт инъекционного закрепления завесы в основании Камской ГЭС может быть использован и на других гидротехнических сооружениях.

**Условия развития карста в зоне влияния Камского водохранилища.** Значительная часть берегов Камского водохранилища сложена карстующимися породами — гипсами, ангидритами, известняками (рис. 67). На закарстованных участках произошли существенные изменения условий развития карста [104, 132, 135]. Образование Камского водохранилища вызвало подъем уровня воды на 20—22 м [135]. В результате подпора значительно повысился уровень подземных вод в прибрежной зоне. Изменилась гидродинамическая зональность в приречных массивах: уменьшились размеры зоны вертикальной нисходящей циркуляции и увеличились размеры зоны горизонтальной циркуляции. Значительная часть разреза сульфатных пород оказалась в условиях полного обводнения. Обрывистые гипсовые стены, трещины, полости и пещеры обводненной зоны подверглись коррозионному действию речных вод. Особенно интенсивно процессы растворения сульфатных пород



Рис. 67. Камское водохранилище [135]

развиваются в интервале «сливной призмы» — верхних 7—8 м толщи, в пределах которых происходят сезонные (наполнение весной и сработка зимой) колебания уровня карстовых вод. В этой зоне активно размывается и выносится рыхлый заполнитель карстовых полостей. Растворение карстующихся пород в условиях их постоянного или периодического контакта с водой, суффозия заполнителя полостей активизируют карст в береговой и прибрежной зонах водохранилища.

Водная масса водохранилища непрерывно обновляется за счет поверхностного стока, атмосферных осадков, талых снеговых и подземных вод. На участках берега, сложенных карстующимися породами, минерализация воды увеличивается в 2—3 раза по сравнению с минерализацией воды в середине водоема, однако вода остается ненасыщенной по отношению к гипсу. Вследствие растворения на поверхности гипсовых стен образуются микроформы, подчеркивающие слоистость породы: ниши, всевозможные выступы, «зубья». Растворение стенок трещин приводит к образованию «коридоров», коридорных пещер.

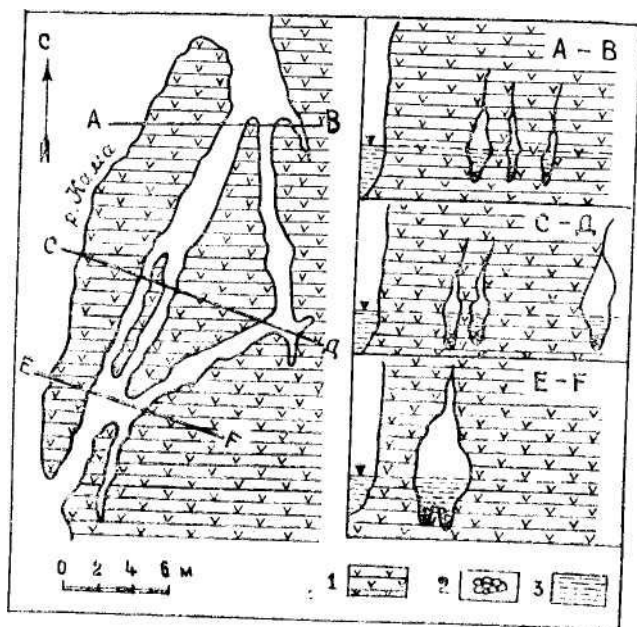


Рис. 68. Пещера Полазнинская: 1 — гипс, 2 — осыпь, 3 — вода

Скорость образования коррозионных форм очень высока: волноприбойные ниши возникают в течение 2—3 месяцев [135]. Высота и глубина ниш измеряется метрами, а протяженность вдоль береговых обнажений — десятками метров. В результате абразионно-растворяющего действия вод разрушаются возникшие до создания водохранилища пещеры, например, у пос. Полазна (рис. 68). За непродолжительное время (6—8 лет) по тектоническим трещинам и трещинам бортового отпора могут сформироваться «эфемерные» пещеры.

В раздробленных сульфатных породах коррозионное действие вод превращает сети закарстованных трещин в лабиринтовые пещеры. Подобные пещеры, а также ниши быстро эволюционируют, разрушаясь в результате обваливания свода (козырька, навеса). Обрушению пород способствует наличие в них отдельностей в виде блоков. При разрушении берега от него отделяются столбообразные останцы. Блоки пород, оказавшиеся в воде, быстро растворяются.

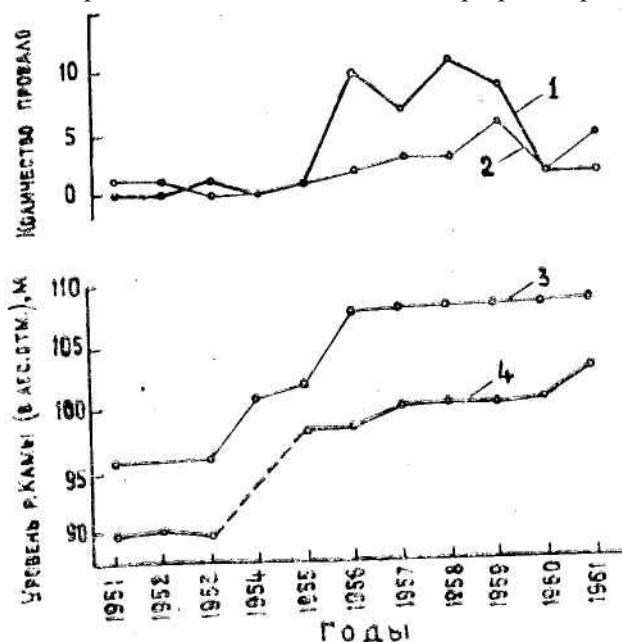


Рис. 69. Динамика провального процесса в прибрежной зоне: 1 — провалы на нижних и средних террасах; 2 — провалы на высоких террасах; 3 — максимальные уровни р. Камы у с. Хохловка; 4 — низкие уровни р. Камы у с. Хохловка (по В. С. Лукину)

По данным многолетних наблюдений закарстованные берега отступают со скоростью в среднем 2—2,5 м в год.

**Активизация провального процесса.** В результате нарушения гидродинамических условий в прибрежной зоне, где, по оценкам специалистов, подпор подземных вод проявляется на расстоянии 5—6 км от водохранилища, участились провалы (рис. 69). Увеличение числа провалов, особенно на низких террасах, соответствует по времени наполнению водохранилища. Активизацию провальных процессов В. С. Лукин и другие [104] связывают с постоянным или периодическим увлажнением рыхлого грунта, заполняющего карстовые полости или залегающего на закарстованной поверхности гипсов, благодаря этому ослабляется внутренняя связь между частицами грунта, происходит его разрыхление. Наблюдаются различные деформации в толще отложений и на их поверхности. Развитию провального процесса способствует суффозионный вынос рыхлого заполнителя полостей при колебании уровня воды. Большинство провалов тяготеет к 1—2 километровой полосе берега. Решающую роль в усилении провальных процессов отводят коррозионному расширению старых и формированию новых пустот [135]. Наиболее интенсивно процессы растворения породы протекают в зоне колебаний уровня воды. Здесь же в результате увеличения скорости движения подземных вод при летней и, особенно, зимней сработке происходит вынос глинистых частиц.

В связи с повышением уровня подземных вод при заполнении водохранилища зона активного карстообразования в толще пород сместилась вверх.

### **Селитебная деятельность и ее влияние на карст**

Многие населенные пункты Пермской области расположены в карстовых районах. Наибольшее их количество тяготеет к полосе распространения сульфатных пород. Помимо многочисленных деревень здесь размещены районные центры — Кунгур, Орда, Кишерт, Суксун, Полазна и др. Степень и характер селитебного влияния на карст зависят от размеров населенного пункта, его хозяйственной структуры и типов предприятий, закарстованности территорий и других факторов. В зависимости от геологических условий и вида воздействия в разных частях населенного пункта карст может активизироваться или, наоборот, затухать. Часто активизация

карста связана с каким-либо конкретным объектом (например водозабором) или действием (выемка, котлован — накопители вод). Примером населенного пункта, испытывающего влияние карста, является г. Кунгур. Индикатором, отражающим влияние города на карст, служат провальные процессы.

Город расположен в основном на левом берегу р. Сылвы и занимает площадь около 25 км<sup>2</sup>. В пределах городской территории имеются участки поймы, а также пять террас. Цоколи террас образованы сульфатными (гипсы, ангидриты) и карбонатными (известняки, доломиты) породами, кровля которых закарстована. На них залегают рыхлые гравийно-галечные, супесчаные, суглинистые отложения, содержащие обломки карстующихся пород. Территорию города пересекает с северо-востока на юго-запад граница между сульфатными и карбонатными породами, разделяющая его на две части: большую, северо-западную, на гипсах и ангидритах, и меньшую, юго-восточную, на доломитах и известняках, поверхностные карстопроявления сосредоточены в северо-западной части города и связаны с более активным карстом сульфатных пород. В этой же части располагается большая часть жилых массивов и предприятий. В пределах юго-восточной части города преобладают одноэтажные деревянные строения индивидуальной застройки. Приводимые факты будут касаться главным образом северо-западной, основной, части города.

Многолетние наблюдения сотрудников Кунгурского стационара УрО АН свидетельствуют об увеличении частоты провалов на застроенных территориях (табл. 11). Этот факт может иметь следующие причины:

- 1) накопление воды в искусственных понижениях — выемках, траншеях, котлованах и т. д. — с ее последующей инфильтрацией в рыхлые отложения и закарстованные толщи;

- 2) динамические и статические нагрузки на грунт;

- 3) откачка подземных вод для питьевого и технического водоснабжения;

- 4) повышение агрессивности подземных вод по отношению к карстующимся породам за счет их химического и теплового загрязнения.

Установлено, что провалы связаны не только с карстом и карстовыми полостями, но и с процессами в рыхлых толщах, перекрывающих карстующиеся породы.

Таблица 11

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
Вызванный динамическими нагрузками	1	1	1	1
Неустановленный	3	6	1	3
Всего	27	27	51	54

Среди причин, вызывающих антропогенные провалы и просадочные деформации, можно выделить следующие:

1) оседание или обрушение грунтов и насыпей над искусственными полостями — подвалами, камерами, ходами сообщения;

2) обрушение грунтов и перекрытий над трубопроводами (чаще всего водопроводами) в местах утечки из них, приводящей к размыву отложений и формированию суффозионных полостей;

3) оседание поверхности над засыпанными колодцами, ямами, у стен зданий в результате естественного уплотнения материала, а при попадании воды в такие углубления — и суффозии;

4) площадное оседание поверхности в результате откачки подземных вод;

5) оседание поверхности над неровностями, которые были засыпаны несортированным, проницаемым материалом в процессе его уплотнения или размыва.

Данные об увеличении частоты провалов за счет появления их новых типов, связанных с суффозией, уплотнением грунта и обрушением сводов искусственных полостей, используются при инженерно-геологической оценке территории. При установлении

карстоопасности территории необходимо учитывать только карстовые провалы.

Сказанное не исчерпывает перечень видов деятельности и направлений влияния деятельности человека на карст в Пермской области. Существенное изменение условий его развития происходит в районах нефтедобычи, лесоразработок, на сельскохозяйственных площадях, околокарьерных территориях, вдоль линейных сооружений (железных и шоссейных дорог, линий электропередач, трубопроводов), а также в зоне подземных ядерных взрывов. Не всегда результатом антропогенного воздействия является активизация карста. Например, при обезвоживании карстующихся пород скорость карстовых процессов уменьшается. Воздействие человека на карст имеет целый ряд важных последствий. Серьезные проблемы возникают при химическом, тепловом и бактериальном загрязнении карстовых вод, поскольку их подземные коллекторы — различные полости — обладают сравнительно невысокой способностью к очищению вод и позволяют мигрировать загрязняющим веществам на большие расстояния. Нарушение водного баланса закарстованных территорий отрицательно сказывается на гидрологическом режиме рек, водоемов, источников, вызывает осушение или заболачивание отдельных участков ландшафта, приводит к смене растительности, ухудшению плодородия почв.

Вопросы антропогенного влияния на карст Пермской области весьма актуальны, поэтому требуют большого внимания ученых и практиков.

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ**

### **Условия и факторы, определяющие устойчивость закарстованных территорий**

Выход на поверхность или близкое к ней залегание растворимых горных пород, образующиеся в них трещины и полости осложняют освоение закарстованных территорий. Поверхностные карстопроявления отмечаются в 20 из 41 административных районах Пермской области, причем более половины закарстованных территорий приходится на районы наиболее опасного — сульфатного и соляного — карста (табл. 12). Всякое строительство во избежание

негативных последствий требует всестороннего и тщательного изучения карстопроявлений и потенциала карстообразования.

Степень проявления и опасности карста определяют в значительной мере основные методы его исследования с целью выявления возможности промышленного и гражданского строительства.

Таблица 12

Административные районы Пермской области, в которых карстовые явления развиты на поверхности

Район	Литологический тип карста	Степень развития (проявления) и опасности карста
Район г. Александровска	к, [с]	сл
Березовский	г, [с]	сл, ср
Район г. Гремячинска	к	сл, ср
Горнозаводский	к	сл
Район г. Губахи	к	ср, сл
Добрянский	г, [к]	с, ср
Район г. Кизела	к	ср
Кишертский	г, [к, с]	ос, с, ср
Красновишерский	к	ср, сл
Кунгурский	г, к	ос, с
Лысьвенский	г, к	с, ср, сл
Октябрьский	г, к	ос, с, ср
Ординский	г, к	ос, с, ср
Пермский	г	с, ср
Соликамский	с, [г]	ср, с
Суксунский	г, [с]	ос, с, ср
Уинский	г	с, ср
Усольский	с	ср
Чердынскнй	к, г, с	ср, с
Чусовской	г, [к]	с, ср

Примечания: к — карбонатный тип карста, г — сульфатный или гипсовый, с — соляной; сл — слабая степень опасности, ср — средняя, с — сильная, ос — очень сильная



При слабом проявлении карст изучается преимущественно поверхностными и дистанционными методами: инженерно-геологической съемкой, рекогносцировкой, гидрохимическим опробованием, опросом местных жителей, дешифрированием аэрофотоснимков. При средней степени карст исследуется достаточно детально, но преимущественно поверхностными методами; буровые и горнопроходческие работы проводятся с целью общей оценки геолого-гидрогеологических условий развития процесса, геофизические работы используются не повсеместно. При сильной степени развития карста используется комплекс методов, в том числе геофизических, при очень сильной — детальное исследование карста включает режимные наблюдения.

Интенсивность и направленность карста и сопутствующих ему процессов определяются сложным взаимодействием, природных условий (пассивных компонентов окружающей среды) и факторов (активных составляющих), среди которых наибольшее значение имеют литологический состав карстующихся пород и покровных отложений, структурно-тектонические и гидрогеологические условия, геологическое развитие территории, ее обводненность и режим температур атмосферы (климат), расчлененность (рельеф) и характер растительности. Характерна различная степень активности (подземной химической денудации) современного карста в год выносится от 9—17 микронов солей на участках карбонатного до 150—200 и 1200—1324 микронов в районах сульфатного и соляного карста.

Карбонатные породы, как правило, устойчивы, достаточ но прочны, поэтому они изучаются в первую очередь на наличие карстовых полостей и возможность проявления суффозии в покрывающих их отложениях, заполнители полостей и закарстованных трещин. Детальностью отличаются исследования (преимущественно гидрогеологические) при гидротехническом строительстве и освоении месторождений полезных ископаемых.

Соляные породы Предуралья обычно залегают на значительной глубине и характеризуются в естественных условиях относительно равномерным растворением кровли соляных залежей и оседанием земной поверхности в течение длительного времени. Детально соляной карст изучается при проектировании предприятий термохимической промышленности, соляных рудников и крупных ГЭС. Недостаточный учет возможной активизации соляного карста при

вмешательстве в его естественный ход человека приводит к весьма серьезным последствиям, о чем свидетельствуют Березниковский провал, возникший в 1986 г., и затопление рудника 3-го Березниковского рудоуправления.

Наиболее существенное влияние на устойчивость территории области оказывает сульфатный карст, вызывающий основные виды деформаций земной поверхности: а) многолетние оседания грунтов, обусловленные преимущественно поверхностным растворением сульфатной толщи; б) проседания-прогибы кровли над карстовыми полостями; в) оседания и проседания вследствие уплотнения заполнителя карстовых впадин; г) карстово-суффозионные просадки, формирующие преимущественно блюдцеобразные впадины и образующиеся при достаточно медленном перемещении покровных песчано-пылевато-глинистых грунтов в карстовые полости и трещины; д) провалы различных генетических типов. Углубленное изучение сульфатного карста, условий и факторов его развития необходимо при всех видах строительства, так как формирование значительных карстовых полостей в гипсах вполне возможно за расчетный срок службы здания или сооружения.

При оценке степени устойчивости закарстованных территорий обычно учитываются следующие факторы и условия:

- геоморфологическое положение;
- тектоническое и геолого-литологическое строение (условия залегания карстующихся пород, их мощность, петрографический состав, состояние, трещиноватость, наличие зон тектонических нарушений и неотектонической активности, присутствие карбонатных и терригенных пачек в сульфатной толще, мощность, состав и состояние рыхлых четвертичных отложений и карстово-обвальных образований преимущественно неоген-четвертичного возраста и др.);
- тип гидродинамического профиля, наличие и мощность зон циркуляции карстовых вод, их связь с водами других горизонтов и поверхностными, химический состав вод и агрессивность их по отношению к карстующимся породам;
- гидрогеологические параметры водоносных горизонтов и грунтов зоны аэрации;
- встречаемость полостей и разрушенных или ослабленных зон, их положение в разрезе;
- наличие поверхностных карстопроявлений, пещер, их особенности;
- тип, частота и размеры карстовых деформаций земной поверхности и другие количественные показатели карста [85].

**Влияние обстановок карстообразования на интенсивность карста.** Среди основных геоморфологических обстановок развития карста следует выделять приустьевую (прибрежную), склоновую (переходную) и междуречную (водораздельную). Каждая обстановка отличается условиями развития карстовых явлений и гидродинамических зон. Для первой характерны активный водообмен и подальювиальный карст с широко развитой в долинах крупных рек (Чусовой, Сылвы, Ирени и др.) зоной поддолинной циркуляции карстовых вод. Поддолинные полости с вертикальным размером до 8 м и более встречаются на глубине 10—50, реже — 70—100 м ниже дна долин. Карстовые воронки часто приурочены к тыловым швам речных террас. Коэффициент карстовой аномальности (отношение скважин, вскрывших полости, к общему их числу) на Сылвинском побережье составляет 0,12—0,38. Незаполненные полости встречаются в одной-двух скважинах из десяти. Среднегодовое количество провалов на некоторых участках достигает 0,5—1 на 1 км<sup>2</sup>. Диаметр их редко превышает 3 м, а глубина — 1—2 м.

Активный водообмен между речными и трещинно-карстовыми водами охватывает и склоновую зону, включающую участки высоких террас и коренной склон долины. Особенностью зоны является наличие трещин разгрузки и бортовых водотоков в закарстованных гипсах и карстово-обвальных отложениях, приуроченных к полосе сочленения аккумулятивных и эрозионных террас. Здесь порой фиксируется пониженное положение уровня карстовых вод (с. Согрино), наблюдаются интенсивная поверхностная и подземная закарстованность, развитие крупных рвов и впадин, щелеобразных пещер (с. Серга). Вертикальный размер карстовых полостей нередко превышает 10 м, а частота провалов — до 4—6 случаев в год при площади карстовых гнезд 0,25—0,3 км<sup>2</sup>. Воронки с показателем глубинности (отношение глубины к диаметру) более 0,5 встречаются значительно чаще, чем в других зонах. Эта зона наиболее опасна и часто непригодна для строительства.

На междуречных (водораздельных) равнинных пространствах, где влияние речных вод практически не сказывается, интенсивность развития современного карста определяется в основном условиями инфильтрации атмосферных осадков и циркуляцией подземных вод. В зоне аэрации карстового массива преобладает вертикальное движение вод по трещинам, способствующее образованию вертикальных карстовых полостей с небольшими поперечными размерами и столь

же незначительных (до 1—3 м) карстовых деформаций земной поверхности. Частота последних обычно зависит от положения кровли карстующихся пород. Глубина зоны горизонтальной циркуляции карстовых вод значительна, формирующиеся в ней полости на поверхности проявляются редко, хотя размеры провалов могут быть значительными (более 10 м в диаметре).

Гидрогеологическая обстановка является определяющей в развитии карста. Два из четырех основных условий карстообразования обусловлены гидрогеологией территории. И антропогенная активизация карста, как правило, связана с неблагоприятными изменениями гидрогеологических условий при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Установление типа гидродинамического профиля закарстованных территорий имеет важное значение при оценке карстоопасности, определении вида, частоты и размеров карстовых деформаций поверхности.

Существенна роль в оценке карстоопасности гидрогеохимического разреза и условий формирования агрессивности вод к карстующимся породам. Нередко, включения галита в сульфатных породах иренского горизонта обуславливают повышенную агрессивность трещинно-карстовых вод: суммарное содержание в них ионов кальция и сульфатного значительно (в 2—4 раза и более) превышает растворимость сульфата кальция в дистиллированной воде. Активная гидравлическая связь карстовых вод с поверхностными водотоками (в частности с реками Камой, Чусовой, Сылвой, Иренью и др.) определяет значительный вынос растворимых солей и мелких (преимущественно пылеватых) частиц из прилегающих к рекам карстовых массивов в паводковые и послепаводковые периоды, что обычно отражается в возникновении провалов и просадок земной поверхности. В первом приближении и при массовом гидрохимическом опробовании агрессивность вод по отношению к сульфатным породам может быть выявлена по номограммам (рис. 70).

**Условия и факторы активизации карста.** В последние десятилетия все больше внимания обращается на активизацию карста, обусловленную главным образом антропогенным воздействием на условия карстообразования и связанные с ним процессы: суффозию, эрозию, гравитационные и др. Среди основных групп факторов, влияющих на активизацию карста и проявление деформаций на поверхности земли, следует отметить

1) изменение гидрогеодинамических условий, в частности, при

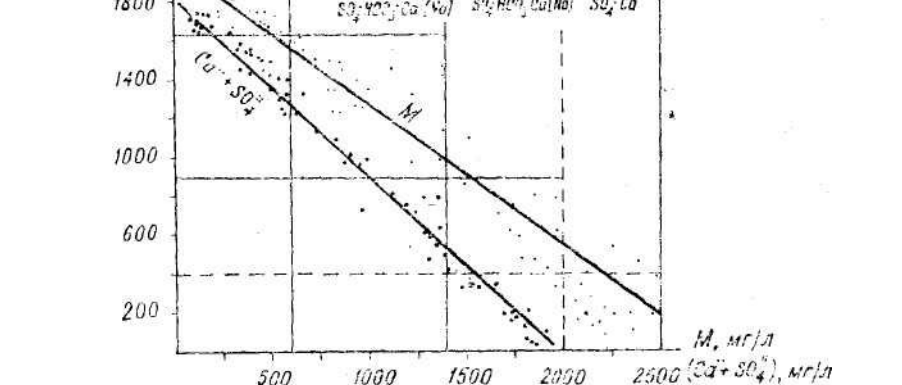
$$\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg(OH)}_2$$


Рис. 70. Изменение дефицита насыщения природных вод сульфатом кальция ( $X_{CaSO_4}$ ) в зависимости от минерализации (M), суммарного содержания ионов Ca и  $SO_4$  и химического состава (гидрохимической фации)

2) сокращение мощности (до обнажения карстующихся пород) и изменение состава и свойств покровных отложений;

3) увеличение агрессивности природных вод и обводненности закарстованных территорий;

4) трансформацию рельефа поверхности, приводящую к появлению (или расширению) очагов повышенной инфильтрации и инфлюации природных и промышленно-бытовых вод;

5) динамические нагрузки, в том числе вызванные применением взрывчатых веществ при разработке полезных ископаемых и различного рода строительстве;

б) проходку и эксплуатацию глубоких скважин и шахт, нередко сопровождающихся перетоками подземных вод, со льяно-кислотными обработками, закачкой поверхностных вод, горными ударами и разгрузкой внутренних напряжений массивов горных пород с образованием в них значительных трещин и полостей.

Первая группа факторов активизации карста характерна для закарстованных побережий Камского водохранилища, речных долин Чусовой и Сылвы, вторая зафиксирована в Иренском, Нижнесыльвинском и других районах гипсового карста, третья существенна для Кизеловского угольного бассейна, четвертая

отмечается повсеместно в районах народнохозяйственного освоения закарстованных территорий, пятая характерна для полос железных дорог и других линейных сооружений (в частности магистральных газопроводов), шестая свойственна горнодобывающим районам (нефтяным месторождениям, угольным и соляным шахтам). Нередко действует комплекс факторов.

Особенно негативна антропогенная активизация карста в сочетании с другими опасными геологическими процессами. Так, в Кунгурско-Иренском междуречье в полосе магистральных газопроводов при их прокладке наблюдались комбинации факторов, что значительно активизировало карстовую денудацию, суффозионно-провальные и обвальные процессы: частота провалов на отдельных участках трасс достигала 134 случаев в пересчете на 1 км<sup>2</sup> в год [89]. В близрасположенных пещерах при этом фиксировались обвалы.

Среди естественных факторов активизации карста преобладают гидрологические (высокие половодья), метеорологические (периоды повышенной солнечной активности), геодинамические (землетрясения и другие неотектонические проявления).

**Методы оценки карстоопасности.** Комплексное изучение закарстованных территорий на основе различных методов и методик, их сочетания в зависимости от конкретной обстановки позволяет достаточно объективно оценить карстоопасность. Среди методов оценки устойчивости закарстованных территорий В. М. Кутепов и В. Н. Кожевникова выделяют следующие: I — инженерно-геологического анализа, II — инженерно-геологических аналогий, III — расчетные (статистические и аналитические), IV — моделирования (физического и математического) и V — стационарных режимных наблюдений.

При инженерно-строительных изысканиях наиболее широко используются методы первых двух групп, в меньшей степени (в первую очередь из-за сложности исследования физико-механических свойств покровных карстово-обвальных образований) — методы III и IV. К сожалению, режимные наблюдения на закарстованных территориях Пермской области не велись или проводились эпизодически.

Один из наиболее карстоопасных участков находится в с. Усть-Кишерть. Участок характеризуется весьма сложными условиями развития карста, обусловившими появление на поверхности земли провалов с поперечником до 120 м (оз. Молебное). Последние карстовые провалы с поперечником до 50 м и глубиной свыше 14 м

отмечены 40 лет назад, в августе 1949 г., а деформации поверхности (просадки) незначительной глубины, но охватывающие площадь до 200 м<sup>2</sup>, наблюдались и в конце 70-х гг.

Особенностью карста является его развитие в зоне сочленения крупной валообразной структуры Уфимского плато с западным бортом Юрюзано-Сылвинской депрессии, в полосе контакта артинско-филипповского карбонатного комплекса и сульфатных (с включением каменной соли) отложений поповской свиты.

Значительные размеры провалов объясняются геолого-тектоническими и гидрогеологическими условиями развития карста, в первую очередь

- наличием терригенных и карбонатных пород, перекрывающих карстующиеся гипсо-ангидриты и создающих «надежную» (до определенного предела) кровлю формирующихся в сульфатах карстовых полостей;

- приподнятостью и сильной тектонической трещиноватостью и закарстованностью карбонатных пород Уфимского плато, являющегося областью питания, накопления и транзита пресных весьма агрессивных подземных вод;

- возможностью формирования больших полостей на значительных глубинах, обусловленной наличием зоны сифонной циркуляции карстовых вод и подтоком в гипсо-ангидриты пресных вод Уфимского плато сбоку и снизу, а также глубинных соленых вод и рассолов, обладающих повышенной агрессивностью к сульфатным породам;

- мощной толщей гипсов и ангидритов;

- присутствием в разрезе рассеянных вкраплений и линз каменной соли, растворяющихся при благоприятных условиях и способствующих повышению агрессивности подземных вод.

Детальный качественный и количественный анализ условий карстообразования и карстопроявлений позволил провести районирование территории по степени устойчивости и потенциальной карстоопасности. В соответствии с принципом комплексного районирования с помощью «подвижного» (с интервалом 25 м) радиуса удаленности от карстовых воронок в пределах исследованной площади (более 7 км<sup>2</sup>) выделены 3 зоны (рис. 71).

1. Неустойчивая зона со среднегодовым количеством провалов 0,118—0,79 случая/км<sup>2</sup>·год и значительной величиной показателей поверхностной и внутренней закарстованности. Любой вид капитального строительства здесь не рекомендуется.

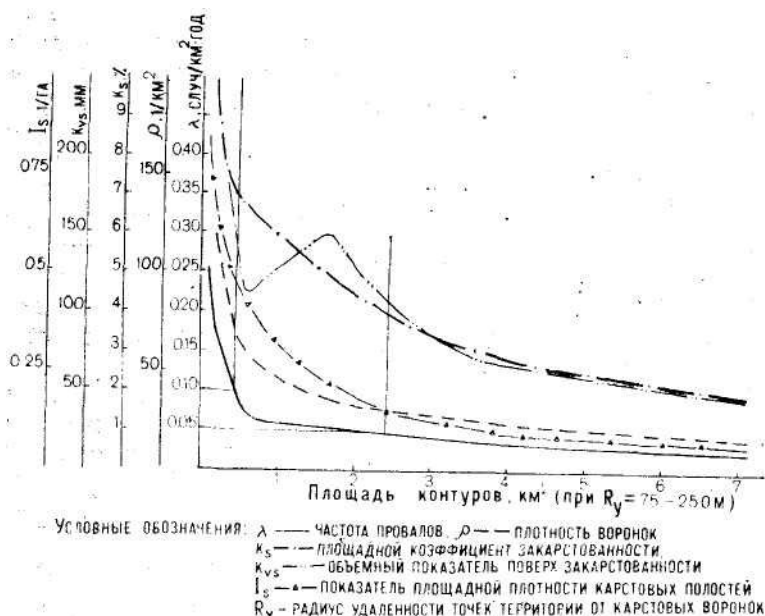


Рис. 71. Изменение показателей закарстованности в зависимости от площади карстовых полей (по В. П. Костареву)

Возможно использование территорий как зон отдыха и зеленых насаждений. При специальном обосновании необходимости и целесообразности строительства отдельных зданий и сооружений необходима детальная инженерная разведка на участках, удаленных от карстовых воронок на 50—100 м и включенных в зону по общим геологическим и гидрогеологическим условиям и данным геофизических работ.

2. Недостаточно устойчивая зона территории с частотой провалов 0,053—0,098 случая/км<sup>2</sup>·год. Промышленное и гражданское строительство допускается с применением конструктивных противокарстовых мероприятий после предварительной инженерной разведки, виды и объем которой определяются природными условиями и типом зданий. 3. Зона с несколько пониженной устойчивостью и частотой провалов 0,017—0,048 на 1 км<sup>2</sup> в год. Допускается промышленное и гражданское строительство обычно с проведением противокарстовых мероприятий, выбор которых производится (с учетом типа и назначения зданий) после установочного бурения.



Село Усть-Кишерть расположено в непосредственной близости от района карбонатного карста Уфимского плато, характеризующегося в десятки раз меньшей интенсивностью, поэтому рекомендован вариант переноса поселка к западу, в наиболее благоприятную зону, что приближает его к надежному источнику хозяйственно-питьевого водоснабжения — трещинно-карстовым водам артинско-филипповского водоносного комплекса. В соответствии с рекомендациями изыскателей на территории начато рабочее проектирование.

Наиболее существенной (для инженерно-геологической оценки) чертой сульфатного карста является его сосредоточенность, обусловленная в основном тектонической трещиноватостью и предыдущими эпохами карстообразования. Провалы чаще происходят вблизи имеющихся поверхностных карстопроявлений: воронок, котловин, карстовых рвов и др. С удалением от них частота провалообразования, как правило, уменьшается. На этой закономерности основаны один из принципов инженерно-геологической оценки территорий с точки зрения карстоопасности и способ прогноза их устойчивости к карстовым деформациям поверхности [85, 145].

По итогам изучения геологических, гидрогеологических и геоморфологических условий развития карста, выявления поверхностных и подземных карстопроявлений и оценок механизма провалообразования для выделения площадей разной степени закарстованности на карте проводятся изолинии удаленности от карстовых форм. Радиус (интервал) удаленности выбирается в зависимости от конкретной обстановки. Он может быть принят равным среднему или максимальному диаметрам воронок в карстовых скоплениях, гнездах или полях, среднему или минимальному расстоянию между воронками или другим, достаточно объективным и несущим смысловую нагрузку показателям. При отсутствии таковых изолинии обычно проводятся радиусом с интервалом в 25—50 м. В дальнейшем по кумулятивным и поинтервальным площадям вычисляются частоты и плотности карстовых воронок и провалов, коэффициенты поверхностной и подземной закарстованности и другие количественные показатели карста, позволяющие провести районирование территории по категориям устойчивости и прогнозировать интенсивность провалообразования, в том числе с учетом активизации карстового и сопутствующих ему процессов под воздействием техногенной нагрузки. Подобный анализ проводился на ряде объектов промышленно-гражданского строительства в г. Кунгуре, пос. Полазне, селах Усть-Кишерть, Серга, Шадейка и др.

Заслуживает внимания предложенная ЗапУралТИСИЗом методика районирования и зонирования закарстованных территорий на стадиях проекта и рабочей документации [80]. В основу ее положены традиционные (и поэтому достаточно апробированные) методы исследований; среди них особое место отводится геофизическим способам разведки. Из 26 признаков (показателей), определяющих степень устойчивости территорий, более четверти — геофизические. При определении большей части других показателей геофизические методы (электро- и сейсморазведка) также широко применяются. Близка к этой методике, но более дифференцирована по радиусу удаленности от карстопроявлений (см. выше) и плотности карстовых полостей (рис. 71) методика оценки карсто опасности, используемая в ВерхнекамТИСИЗе [86, 88].

### **Изыскания для целей промышленного и гражданского строительства**

В практике инженерно-геологических изысканий для промышленного и гражданского строительства в последние 40—50 лет использовались различные классификации по степени устойчивости закарстованных территорий, и лишь одна из них получила статус нормативной [147]. В 1931 г. при инженерно-геологическом районировании Приуфимского района было установлено 5 категорий закарстованных территорий по степени их пригодности для возведения зданий и сооружений. В 1947 г. З. А. Макеевым [107] предложена первая классификация площадей по интенсивности провалообразования (табл. 13). Принцип ее сохранен и в настоящее время. К. А. Горбуновой [57] с некоторым уточнением этого показателя [110] классификация дополнена достаточно легко определяемыми величинами — плотностью карстовых воронок, коэффициентами площадной и объемной поверхностной закарстованности (табл. 14).

Таблица 13

#### Категория устойчивости закарстованных территорий [107]

Категория устойчивости территории	Количество воронок, возникающих на площади 1 км <sup>2</sup> в год
I — весьма неустойчивая	5—10 и более
II — неустойчивая	1—5
III — средней устойчивости	0,05—1
IV - устойчивая	0,02-0,05
V - весьма устойчивая	менее 0,02

Таблица 14

Показатели устойчивости территорий Кишертского карстового района [57]

Класс устойчивости территорий [110]	Частота провалов, <u>случай</u> км <sup>2</sup> ·год	Плотность карстовых воронок, 1/км <sup>2</sup>	Коэффициент площадной закарстованности, %	Коэффициент объемной поверхн. закарстованности, см
2 — слабоустойчивые	0,01—0,1	<100	<4	<10
3 — неустойчивые	0,1 — 1	100—200	4—10	10-50
4 — весьма неустойчивые	1—10	>200	>10	>50

На отдельных территориях эти классификации дополняются другими количественными показателями карста (табл. 15, рис. 71), что имеет важное значение для инженерно-строительных изысканий. Наиболее полная классификация приведена в работе [80]. Количественные параметры за карстованности для инженерно-геологической оценки карста широко используются и в ВерхнекамТИСИЗе [85].

Таблица 15

Характеристика закарстованных территорий с. Усть-Кишерт (по В. П. Костареву, 1980 г.)

Категория устойчивости территории	Частота провалообразования случай/км <sup>2</sup> ·год	Плотность карстовых воронок 1/км <sup>2</sup>	Коэффициент площадной закарстованности	Коэффициент объемной поверхностной закарстованности	Показатель площадной плотности карстовых полостей 1/га	Плотность воронок с показателем глубины $\geq 0,3$ и «омоложенных», 1/км <sup>2</sup>
IV	0,017—0,048	<30	<4	<10	<0,15	<10
III	0,053—0,098	30—80	4—7,5	10—15	0,015—0,5	10—25
II	0,118—0,790	>80	>7,5	>15	>0,5	>25

В зарубежных исследованиях чаще встречаются качественные оценки карстоопасности [150], обычно отражающие степень внутренней закарстованности пород. Во Франции для зонирования закарстованных территорий применяются карты плотности полостей, а в Германии — частота провалов критических размеров, при которых зданиям не гарантируется статическая и функциональная надежность.

Классификация закарстованных территорий по степени устойчивости (табл. 16), предложенная И. А. Саваренским [143], закреплена нормативным документом (СНиП 1.02.07—87) и дополнена очень важной классификацией по среднему диаметру карстовых провалов (табл. 17), основанной на расчетах конструктивной защиты зданий от воздействия карстовых деформаций земной поверхности [151]. Это позволяет более эффективно определять необходимость (табл. 18), вид и объем противокарстовой защиты [144].

Таблица 16

Категории устойчивости закарстованных территорий по частоте провалов [143, 147]

Категория устойчивости территорий относительно карстовых провалов	Интенсивность провалообразования, случай/км <sup>2</sup> -год
I — очень неустойчивые	Свыше 1,0
II — неустойчивые	Свыше 0,1 до 1,0
III — недостаточно устойчивые	Свыше 0,05 до 0,1
IV — с несколько пониженной устойчивостью	Свыше 0,01 до 0,05
V — относительно устойчивые	До 0,01
VI — устойчивые	Возможность провалов исключается

Таблица 17

Категория устойчивости территорий по размерам карстовых провалов [147]

Категория устойчивости	Средний диаметр карстовых провалов, м	Степень сложности конструктивной защиты зданий
Л	Свыше 20	Крайне затруднена или невозможна
Б	Свыше 10 до 20	Затруднена
В	Свыше 3 до 10	Достаточно сложна
Г	До 3	Не применяется или применяется в ограниченном объеме

Таблица 18

**Общие рекомендации до строительству а карстовых районах в зависимости от степени устойчивости и функционального назначения территорий [151]**

Территории по функциональному назначению	Категории устойчивости по среднему диаметру карстовых провалов (d), м	Категории устойчивости по интенсивности провалообразования ( $\lambda$ ), случай/км <sup>2</sup> · год				
		I ( $\lambda > 1$ )	II ( $\lambda = 0.1—1$ )	III ( $\lambda = 0.05—0.1$ )	IV ( $\lambda = 0.01—0.05$ )	V ( $\lambda < 0.01$ )
Селитебные, промышленных зон, размещения магистральных железных дорог, аэродромов, автовокзалов	A (d>20)	НР	НР	НР	ПЗ	ПЗ
	Б (d = 10—20)	НР	НР	ПЗ	ПЗ	Д
	В (d=3—10)	НР	ПЗ	ПЗ	Д	Д
	Г (d<3)	ПЗ	ПЗ	Д	Д	Д
Коммунально-складских зон и внешнего транспорта	A (d>20)	НР	НР	ПЗ	ПЗ	Д
	Б (d = 10—20)	НР	ПЗ	ПЗ	Д	Д
	В (d=3—10)	ПЗ	ПЗ	Д	Д	Д
	Г (d<3)	ПЗ	Д	Д	Д	Д
Санитарно-технических устройств, питомников, кладбищ и т. д.	A (d>20)	НР	ПЗ	Д	Д	Д
	Б (d = 10—20)	ПЗ	Д	Д	Д	Д
	В (d = 3—10)	Д	Д	Д	Д	Д
	Г (d<3)	Д	Д	Д	Д	Д
Примечание: НР — строительство не рекомендуется, ПЗ — строительство допускается с применением противокарстовой защиты, Д — строительство допускается без ограничений						

**Противокарстовые мероприятия.** Противокарстовые мероприятия должны предотвратить или свести к минимуму возможность разрушения зданий и сооружений и гарантировать безопасность людей (необходимое условие), а также с учетом возможного ущерба от карстопроявлений и расходов на изыскания и защиту обеспечить эффективность строительства (достаточное условие).

Способы противокарстовой защиты, под которой понимаются направленные на предотвращение или уменьшение влияния негативных последствий карста инженерные мероприятия планировочного, конструктивного, геотехнического, гидрогеологического, строительно-технологического и эксплуатационного характера, весьма разнообразны.

Таблица 19

Рекомендации по строительству на закарстованных территориях  
Башкирии [80]

Категория устойчивости территории	Рекомендуемые		
	Плотность застройки	Этажность зданий	Характер застройки (состав и тип зданий)
V (относительно устойчивая)	По нормам СНиП II—60—75* (с 1.01.90 г. СНиП 2.07.01—89)	Не ограничивается	Жилые, общественные и промышленные здания в основном с противокарстовыми мероприятиями профилактического характера
IV (с несколько пониженной устойчивостью)	—»—	Не более 12 этажей	Жилые, общественные и промышленные здания с противокарстовыми мероприятиями
III (недостаточно устойчивая)	Ниже норм СНиП	Не более 9 этажей	То же. Размещение зданий и сооружений I класса ответственности допускается
II (неустойчивая)	—»—	Одно- и двухэтажные	Временные, некапитальные здания, спортплощадки, скверы, парки
I (очень неустойчивая)	—»—	—	Газоны, скверы

К ним относятся архитектурно-планировочные и водозащитные мероприятия, заполнение карстовых полостей, прорезка интенсивно закарстованных пород глубокими фундаментами, закрепление карстующихся пород и покровных отложений, исключение или ограничение неблагоприятных техногенных воздействий. Наиболее полно способы противокарстовой защиты, применяемые до начала и в момент строительства, при эксплуатации объектов, отражены в классификации ПНИИСа и ВНИИОСПа[144].

Заслуживают внимания рекомендуемые Госстроем Башкирии ограничения по плотности, характеру и этажности застройки (табл. 19) в зависимости от категории устойчивости закарстованных территорий.

Исходя из карстоопасности территории (определяемой инженерно-геологическими изысканиями), а также конструктивной приспособленности к воздействиям карстовых провалов и класса ответственности зданий в зависимости от их назначения и длительности пребывания в них людей устанавливается очередность проведения мер противокарстовой защиты уже существующих объектов [142].

### **Изыскания в зонах линейных сооружений**

Карст на территории области заметно затрудняет и строительство линейных сооружений: автомобильных и железных дорог, различных трубопроводов, линий электропередач и др.

**Железнодорожные магистрали.** Наибольшую опасность карстопроявления представляют для железных дорог, испытывающих значительные и постоянно возрастающие нагрузки, включая динамические. Не случайно основы инженерного карстоведения были заложены в конце XIX — начале XX в. при изысканиях, связанных со строительством железнодорожных линий Самара—Златоуст (г. Уфа), Екатеринбург—Казань (район г. Кунтура), Агрыз—Дружинино (участок Щучье Озеро—Бартым на юге области). На каждой из указанных линий на участках сульфатного карста неоднократно происходили карстовые провалы, что приостанавливало (порой на длительное время) движение поездов или вынуждало значительно (до 15—20 км/ч) снижать их скорость. Так, 24 сентября 1965 г. вследствие необеспеченности водоотвода возник провал диаметром 3 м под вновь построенным путем на разъезде Атер [174]. В этом же районе в 2,5 м от пути 15 июля 1961 г. образовался провал

глубиной 9,5 м, с поперечником 5 м. В последующем на месте засыпанной впадины еще ряд лет отмечались оседания земной поверхности. Зафиксированы провалы и в районах карбонатного карста (перегон Усьва—Баская, ст. Скальный Свердловской железной дороги).

В конце ноября 1989 г. на перегоне Ергач—Иренский было предотвращено крушение поезда. Рельсы четного пути на протяжении 3 м повисли в воздухе: произошел внезапный провал земляного полотна. Обходчиком поезд был остановлен за несколько метров до провала, образованного совместным действием карстовых, суффозионных («подкапывающих») и обвальных процессов. На период засыпки видимой полости и провальной впадины, укрепления пути движение поездов было приостановлено. В последующем скорость их прохождения на этом участке ограничивалась. Железная дорога понесла убытки. Карст, развивающийся здесь в залегающих на глубине 18—20 м гипсах и ангидритах, неоднократно проявлял «своенравность», часто непредсказуемую.

На карстоопасных участках проводятся противокарстовые (часто дорогостоящие) мероприятия: укладка рельсовых пакетов и подбалластного настила из железобетонных балок, тампонаж карстовых полостей и закарстованных трещин специальными растворами, круглосуточное дежурство, устройство электрической оповестительно-заградительной сигнализации и др. Рост грузоперевозок повышает интенсивность карстопроявлений на поверхности. Необходимо дополнительное и специализированное (инженерно-геологическое) обследование закарстованных участков железных дорог Пермской области.

**Автомобильные дороги, мостовые переходы и ЛЭП.** Нередки провалы на автомобильных дорогах области, особенно в Кунгурском, Ординском, Чусовском и Добрянском административных районах. Большая часть их зафиксирована в кюветах и резервах грунта, что объясняется в первую очередь сосредоточением в них поверхностного стока вследствие недостаточно продуманного проектирования и неудовлетворительного качества строительства. Заметно меньше провалов на дорожном полотне. Диаметр их обычно не более 5 м [102]. Важное значение при проектировании автодорог в карстовых районах имеет правильный выбор их направления, обоснование которого требует сбора и анализа литературных и фоновых материалов об условиях карстообразования и распространения карстопроявлений на исследуемой территории, дешифрирования аэрофотоснимков, проведения рекогносцировочных работ (включая при необходимости аэровизуальные наблюдения). На стадиях составления рабочего проекта, проекта или рабочей



документации детально изучаются инженерно-геологические и гидрогеологические условия полосы выбранной трассы шириной не менее 300 м с применением геофизических, буровых, горнопроходческих, опытно-фильтрационных и лабораторных работ.

Особое внимание при изысканиях и строительстве на закарстованных территориях необходимо обращать на участки мостовых переходов, прежде всего на места установления каждой опоры. Многочисленные карстовые полости (в том числе незаполненные и с вертикальными размерами до 6—7 м) вскрыты при изысканиях и строительстве через реки Чусовую, Сылву, Ирень и др.

Несмотря на малую площадь, занимаемую инженерными сооружениями (опорами, подстанциями и др.), возможны осложнения и при строительстве ЛЭП в карстовых районах. И в данном случае важен правильный (оптимальный) выбор направления линий и мест заложения опор. Примером такого выбора могут служить инженерно-геологические изыскания на закарстованных участках (Кунгурском и Быковском) под ЛЭП 220 кВ Пермь—Свердловск [130].

**Магистральные трубопроводы.** Специфична оценка карстоопасности трасс магистральных трубопроводов. Металлические сооружения способны выдержать провалы значительных размеров (диаметром до 15—20 м и более), вследствие чего прокладка их возможна и по интенсивно закарстованным территориям. В то же время магистральный трубопровод — достаточно сложное инженерное сооружение, функционирование которого связано с необходимостью строгого соблюдения требований безопасности и надежности его эксплуатации.

Изыскания проводятся поэтапно и комплексно. Этапы традиционны: предварительный (предполевой), полевой, камеральный. Нередко границы между этапами стираются, зачастую второй и третий этапы почти совпадают во времени, дополняя друг друга результатами. Широкий комплекс используемых методов также влияет на этапность исследований. Так, при близком залегании карстующихся пород весьма эффективно применение геофизических методов, позволяющих и непосредственно перед строительством проводить поиск опасных карстовых полостей. Иллюстрацией комплексных инженерно-строительных изысканий (включая спелеологические) являются исследования, проведенные ВерхнекамТИСИЗом в междуречье Кунгура и Ирени по трассам магистральных газопроводов Сибирь—Центр—Запад [88]. На

указанной территории высокой закарстованностью отличаются составляющие верхнюю (до глубины 35—40 м) часть разреза гипсы и ангидриты лунежской и демидковской пачек, а также расположенные между ними туйские доломиты и известняки. Широко развиты карстовые воронки различных генетических типов (коррозионные, коррозионно-суффозионные, провальные и др.), поноры, карры, ниши, пещеры, закарстованные трещины, каверны и подземные полости. На основе анализа аэро- и космических фотоснимков, результатов карсто логической съемки, геофизических и буровых работ выделены зоны тектонических нарушений и повышенной трещино ватости субмеридионального и северо-восточного направлений, во многом определяющие положение эрозионной сети и распространение карстовых явлений. Отмечен унаследованный характер положительных неотектоиических движений различной интенсивности.

По обнаженности и составу карстующихся пород, условиям их залегания и характеру покровных грунтов, геоморфологическому положению и расчлененности рельефа, определяющим тип гидродинамического профиля, выделены площади, различающиеся проявлением карстовых форм на поверхности, их интенсивностью, плотностью и размерами.

1 — площадь развития карста демидковских гипсов под покровом четвертичных глинистых и неоген-четвертичных карстово-обвальных (глинисто-обломочных) отложений (покрытый и закрытый типы карста).

2 — площадь распространения карста лунежских-гипсов, выходящих на поверхность или прикрытых почвенно-растительным слоем и незначительным чехлом элювиальных отложений (голый, задернованный и покрытый карст). Для нее характерна наибольшая закарстованность: при средней для площади плотности воронок 61 на 1 га (или 28 на 100 м трассы), коэффициенте площадной закарстованности 37% и объемном показателе поверхностной закарстованности 32 см встречаются карстовые поля и гнезда с плотностью 85—95 воронок на 1 га, поверхностной закарстованностью более 50% и объемным показателем 57 см. Весьма высока частота провалов: на отдельных площадях более 10 случаев на 1 км<sup>2</sup> в год. Средний диаметр воронок 7,8 м, но начальный диаметр провалов обычно 2—3 м. Вероятность образования провалов с большим диаметром не превышает 0,2.

3—5 — площади закрытого карста лунежских гипсов соответственно под четвертичными глинистыми и глинисто-

обломочными отложениями, в зоне контакта с Соликамскими карбонатно-терригенными сильно трещиноватыми и нарушенными породами, под значительным (до 20—40 м) покровом Соликамских отложений. Последние часто загипсованы, и подземные воды перед вступлением в луневские гипсы в значительной мере теряют по отношению к ним агрессивность. Провалы на этом участке сравнительно редки, но при благоприятных условиях могут достигать 10—12 м в диаметре. 6 — площадь развития карста луневских гипсов под аллювиальными глинистыми и песчано-гравийными отложениями в долине р. Ирени (перекрытый, или подаллювиальный карст). Здесь встречаются в основном блюдцеобразные понижения, сформировавшиеся за счет сравнительно медленного оседания и просадок земной поверхности при заполнении выщелоченного пространства в кровле гипса рыхлыми покровными отложениями и их уплотнении.

Электропрофилированием и вертикальным электрическим зондированием установлено соответствие геоэлектрического разреза геолого-литологическому, выявлена четкая связь между показателями поверхностной закарстованности, глубиной залегания карстующихся пород и геофизическими параметрами среды, определены места наиболее вероятного расположения карстовых полостей.

Устойчивость трассы оценивалась исходя из геолого-гидрогеологических условий развития карста и ряда показателей поверхностной и подземной закарстованности, в том числе плотности воронок, коэффициентов закарстованности, аномалий геофизических полей, частоты и размеров провалов. Впервые оценка закарстованности дана на периоды строительства и эксплуатации газопроводов. Устойчивость поверхности рассматривалась как функция времени и критических размеров карстовых деформаций. Если при строительстве критический диаметр (3 м) карстовых провалов обусловлен габаритами строительных механизмов, то на период строительства (15 м) — преимущественно прочностью труб и их соединений — наиболее напряженных участков трубопровода. По комплексу отмеченных условий и факторов выделены наиболее карстоопасные участки.

С целью обеспечения безопасности строительства и эксплуатации газопроводов рекомендованы противокарстовые мероприятия, оказывающие влияние как на естественный ход карстового процесса, так и на его антропогенную активизацию. Среди них обязательное предпроектное заполнение карстовых впадин недренирующим грунтом с поинтервальным уплотнением; организация стока

поверхностных вод, исключая их повышенную инфильтрацию и инфильтрацию; возможно минимальная концентрация строительных машин и механизмов; исключение транзитной перевозки грузов по интенсивно закарстованным участкам; ограничение скорости движения автотранспорта, исключение взрывных работ в зоне их возможного влияния на участок трассы; контроль за карстовыми деформациями и состоянием сооружений и др. Выбор конструктивных противокарстовых мероприятий осуществляется на основе технико-экономических расчетов.

К сожалению, непринятие (или выполнение не в полном объеме) ряда мер привело к значительной активизации суффозионно-провальных процессов. С мая 1983 г. по сентябрь 1984 г. в полосе трассы шириной 40 м и длиной 5,4 км зафиксировано 24 провала, что составляет более 70 случаев в пересчете на 1 км<sup>2</sup>. В 1985 г. этот показатель уже достиг 134, а на отдельных подучастках — свыше 250. В пещерах наблюдались обвалы. Размеры провалов обычно невелики (диаметр до 2—3 м, глубина до 2 м, редко — 4—5 м), форма в основном колодце- и мешкообразная, показатель глубинности часто более 1. Непосредственно для трубопровода подобные провалы не представляют особой опасности, но при столь высокой частоте и слиянии их возможны негативные последствия. Необходим строгий авторский надзор при строительстве и постоянный контроль службы эксплуатации газопроводов за развитием карстово-суффозионных процессов в зоне сооружений. Целесообразна и организация инженерно-геологического полигона (с включением в него близлежащих пещер) - основного элемента карстомониторинга.

Отсутствие результатов стационарных режимных наблюдений, в первую очередь на участках современного активного карста, не позволяет достаточно строго аргументировать классификацию территорий по степени устойчивости к карстовым деформациям и разработать методику технико-экономического обоснования противокарстовых мероприятий.

Решение проблем инженерного карстоведения может быть эффективным при организации карстомониторинга — системы оценки и прогноза состояния карстосферы, взаимодействующей с инженерными сооружениями и человеком и оказывающей на них влияние. Карстомониторинг должен включать в себя все этапы изучения окружающей среды (определяющей условия и факторы карстообразования), картирование (от регионального и мелкого до

крупномасштабного) и инженерно-строительные изыскания на разных стадиях проектирования, перманентные режимные наблюдения (собственно мониторинг), прогнозирование (с учетом техногенного влияния), передачу результатов по инстанциям, прием и решение новых задач, корректировку (по результатам работ и новым заданиям) программ исследований, создание и функционирование постоянно действующей модели геологической среды с целью управления процессом или всей при родно-техногенной геосистемой.

Карстомониторинг сопровождается повышением уровня изученности территории и технической оснащенности исследований. В соответствии с этим могут меняться методы и точность оценки карстоопасности — от методов аналогий до расчетных (аналитических) на базе инженерно-геологического анализа, моделирования и стационарных наблюдений. В условиях налаженного карстомониторинга наиболее реальна оптимизация строительного освоения закарстованных территорий: экономичность и экологичность, эффективность и надежность проектных решений.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В Пермской области карст проявляется в различных геотектонических обстановках, определяющих геологические условия его развития: состав карстующихся пород, их взаимоотношение в разрезе, условия залегания, степень трещиноватости и осложненность крупными разрывными нарушениями, наличие покровных отложений, их состав. Каждая геотектоническая обстановка характеризуется особым режимом неотектонических движений, что отражается на степени вертикального и горизонтального расчленения рельефа, мощности зоны активного водообмена и карстообразования. Нахождение Пермской области в зоне достаточного увлажнения способствует развитию карста. Умеренный континентальный климат с чередованием теплого и холодного периодов является причиной сезонности карстовых процессов, активизации их весной и осенью.

Карстовые районы, выделенные в пределах геоструктур: Восточно-Европейской платформы, Предуральского прогиба, Западно-Уральской складчатой зоны и Центрально-Уральского поднятия, соответствуют крупным и средним тектоническим структурам или их частям. На платформе распространен сульфатный (гипсов и ангидритов), в меньшей степени —карбонатный, в прогибе — соляной

и сульфатный, а в складчатой зоне — карбонатный (известняков, доломитов, реже — мраморов) карст. Карстующиеся породы местами обнажены (голый карст), но чаще всего покрыты почвой (задернованный), рыхлыми четвертичными отложениями (подэлювиальный, подаллювиальный, подфлювиогляциальный) или более древними коренными породами (закрытый).

В зависимости от геолого-гидрогеологических условий, интенсивности проявления карста выделяется несколько категорий карстовых районов.

1. Районы интенсивного сульфатного карста платформенного типа (Ксенофонтовский, Полазнинский, Нижисылвинский, Иренский, Кишертский). Условия строительства определяются наличием площадок от I (очень неустойчивых) до IV (с несколько пониженной устойчивостью) категорий. Отмечается активизация карста в связи с различными видами деятельности человека (гражданским, промышленным, дорожным, гидротехническим строительством, сооружением нефте- и газопроводов, разведкой и эксплуатацией месторождений нефти, газа, подземных вод). Возникновение провалов может создавать аварийные ситуации. Условия водоснабжения неблагоприятны.

2. Район карбонатного карста платформенного типа (Уфимское плато) характеризуется более благоприятными по сравнению с районами сульфатного карста инженерно-геологическими условиями. Эта территория обладает значительными запасами пресных подземных вод, пригодных для питьевого водоснабжения, и не может быть рекомендована для промышленного использования.

3. Районы соляного закрытого карста впадин и депрессий Предуральяского прогиба (Вишерский, Соликамский), где отмечается активизация карстового процесса на старых солепромыслах, при эксплуатации подсолевых месторождений нефти и газа, бурении скважин, добыче соли (Верхнекамское месторождение), интенсивном водозаборе. Негативные процессы: медленное опускание земной поверхности (в многолетнем масштабе), заболачивание, загрязнение (засолонение) подземных вод зоны активного водообмена. В местах интенсивной техногенной нагрузки возможны аварийные ситуации.

4. Районы и участки с локальными проявлениями закрытого и подэлювиального сульфатного, а местами и соляного карста малых структур Юрюзано-Сылвинской депрессии (Осинцевский, Кордонский районы, Опокинский, Чусовской и другие участки).

Возможно возникновение провалов в местах неглубокого залегания гипсов. Активизация карста вероятна в местах перетока минерализованных вод нижних горизонтов в зону активного водообмена (самоизливающиеся структурные скважины), а также при инженерных работах, сопровождающихся нарушением покровных отложений.

5. Районы интенсивного карбонатного карста горноскладчатого (Средневишерский, Кизеловский, Чусовской) типа. Характерны водообильные зоны со значительными ресурсами пресных подземных вод. Активизация карста, сопровождающаяся загрязнением геологической среды и возникновением аварийных ситуаций (прорывами карстовых вод и затоплением горных выработок), наблюдается на площадях со значительной техногенной нагрузкой (Кизеловский каменноугольный бассейн). Особое внимание необходимо уделить зонам тектонических нарушений (надвигов, взбросов) и литологических контактов. Отмечается увеличение глубины активного карстообразования в пределах речных долин.

6. Районы менее активного по сравнению с 5-й группой малоизученного карбонатного горного карста (Верхневишерский, Верхнекошвинский, Верхнеусьвинский).

В условиях интенсивной техногенной нагрузки на геологическую среду необходима более эффективная организация охраны карстовых объектов — пещер, карстовых озер, обнажений карстующихся пород, останцов, карстовых источников, рек, в целом карстовых ландшафтов. Статус памятников природы присвоен таким пещерам, как Кунгурская, Кизеловская медвежья, Дивья, Большая Пашийская, Мечкинская, Варсанофьевой. В неотложной охране нуждаются пещеры Мариинская, Чудесница, Геологов-2, Чаньвинская, Тайн, Подземных Охотников и другие [179].

Более действенной должна быть охрана и водных ресурсов карстовых областей — уникальных карстовых озер (Молебное, Роголек, Белое и др.), мощных карстовых родников (Ключи вблизи пос. Суксун), бассейнов чистых пресных карстовых вод, пригодных для питьевого водоснабжения (Уфимское плато).

В Пермской области по примеру западно-европейских стран необходимо создание карстовых заказников с живописными ландшафтами, пещерами, исчезающими реками и озерами, мощными родниками. Особая проблема — рациональное использование карстовых пещер, открытых и исследованных спелеологами. Многие

из них, отличающиеся богатством натечных форм, могут быть оборудованы в качестве экскурсионных объектов.

Решение практических вопросов, связанных с освоением природных ресурсов карстовых районов, наиболее эффективно может выполняться при организации карстомониторинга — системы оценки и прогноза состояния карстосферы, ее изменения под влиянием техногенных воздействий.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абросимов Э. И., Дерябина Г. В., Костарев В. П. К изучению карста пос. Нагорного (г. Кунгур) // Комплексное исследование недр Западного Урала — путь ускоренного развития народного хозяйства региона: Тез. докл. Пермь, 1988.
2. Агашков В. И., Трушникова М. С. Опокинские пещеры // Пещеры. Пермь, 1965. Вып. 5(6).
3. Алексеева Е. В., Алексинский В. Я. Дивья пещера. м., 1965.
4. Андрейчук В. Н. К вопросу о карсте соляных отвалов//Карст Ал тае-Саянской области и сопредельных стран: Тез. докл. Горно-Алтайск 1989.
5. Андрейчук В. И., Дорофеев Е. П., Лукин В. С. Органные трубы в карбонатно-сульфатной кровле пещер//Пещеры: Проблемы изучения. Пермь, 1990
6. Андрейчук В. Н.: Лукин В. С. Большой Березниковский провал // Проблемы изучения техногенного карста: Тез. докл. Кунгур, 1988.
7. Андрейчук В. Н., Лукин В. С., Яцына И. И. Пещера в соляных отвалах//Новые прогрессивные способы комплексного изучения недр Урала—путь ускоренного развития народного хозяйства региона: Тез. докл. Пермь, 1989.
8. Андрейчук В. И., Яцына И. И. Нижнемихайловская пещера // Изучение уральских пещер: Докл. конф. Кунгур, 1992.
9. Апродов В. А. Геоморфология центральной части Кизеловского каменноугольного бассейна в районе рек: Луньвы, Кизела, Косьвы и Усь вы//Учен. зап. Перм. ун-та. 1955. Т. 9, вып. 1.
10. Бельтюков Г. В. Карстовые воды Верхнекамского соленосного бассейна //Карст Урала и Приуралья. Пермь, 1968.
- И. Бельтюков Г. В. Некоторые данные о глубинном соляном карсте// Вопросы карстоведения. Пермь, 1970. Вып. 2.
12. Бельтюков Г. В. Современный карст Верхнекамского соленосного бассейна // Гидрогеология и карстоведение. Пермь, 1975. Вып. 6.
13. Бельтюков Г. В. Типы карста на площади Верхнекамского соленосного бассейна//Карст мраморов, доломитов, рифов, известковых туфов и галогенных отложений: Тез. докл. Пермь, 1978.
14. Бельтюков Г. В. Техногенный карст в условиях Верхнекамского соленосного бассейна//Проблемы изучения техногенного карста: Тез. докл. Кунгур, 1988.
15. Бельтюков Г. В. Голубев Б. м. Антропогенный карст Верхнекамского месторождения калийных солей // Гидрогеология и карстоведение. Пермь, 1966. Вып. 3.
16. Бельтюков Г. В., Семенов Н. И. О возможности развития карстовых процессов под влиянием древних расслоподъемных скважин//Вопросы карстоведения. Пермь, 1970. Вып. 2.
17. Бураков А. Д. Карст и планирование строительства на территории с. Шляпники Пермской области // Вопросы карстоведения. Пермь, 1970. Вып. 2.
18. Бутырина К. Г. Карстовые явления окрестностей пос. Полазна Добрянского района Пермской области // Учен. зап. Перм. ун-та. 1962. Т. 21, вып. 3.
19. Бутырина К. Г. Новые провалы на левобережье Камского водохранилища // География Пермской области. Пермь, 1964. Вып. 2.
20. Бутырина К. Г. К гидрохимии таборских озер // Химическая география и гидрогеохимия. Пермь, 1964. Вып. 3 (4).
21. Бутырина К. Г. Карстовые озера бассейна нижней Косьвы // Гидрогеология и карстоведение. Пермь, 1966. Вып. 3.

22. Бутырина К. Г. Карст бассейна нижней Косьвы и его влияние на химический состав речных вод//География Пермской области. Пермь, 1966. Вып. 3.
23. Бутырина К. Г. Особенности гипсового карста центральной части Пермской области//Вопросы карстования. Пермь, 1969.
24. Бутырина К. Г. Карстовые озера центральной части Пермской области // Матер. по физ. геогр., охране природы Урала и сопредельных территорий: Учен. зап. Перм. ун-та. Пермь, 1973. № 281.
25. Бутырина К. Г. Химическая география малых рек центральной части Пермской области // Гидрогеология и карстование. Пермь, 1974. Вып. 5.
26. Бутырина К. Г. Карстовые районы и участки центральной части Пермской области//Вопросы физической географии Урала: Учен. зап. Перм. ун-та. Пермь, 1975. № 329.
27. Бутырина К. Г. Карст Сылвинско-Шаквинского междуречья // Карст мраморов, доломитов, рифов, известковых туфов и галогенных отложений: Тез. докл. Пермь, 1978.
28. Бутырина К. Г., Лютова А. В., Ракинцева В. И. и др. Физико-географическая характеристика и оценка закарстованных земель юго-восточных районов Пермской области // Физ.-геогр. основы развития и размещения производств, сил Нечерноземного Урала: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1979.
29. Валуйский С. В., Родионов В. В., Евдокимов С. С. Пещеры Пермской области//Пещеры: Проблемы изучения. Пермь, 1990.
30. Власов Ю. А. Из наблюдений над карстовыми явлениями в междуречье Бабки и Сылвы//Учен. зап. Перм. ун-та. 1962. Т. 21, вып. 3.
31. Воронкевич С. Д., Максимович Н. Г., Емельянов С. Н. Основы методики изучения постинъекционных процессов при химическом тампонировании скальных оснований плотин//Инженерная геология. 1987. №1.
32. Вохмянина Е. И., Горбунова К. А.: Ильиных, Ю. А. и др. Опыт изучения закарстованности путем дешифрирования материалов аэрофотосъемки (на примере Уфимского плато) // Гидрогеология и карстование. Пермь, 1971. Вып. 4.
33. Гидрогеология СССР. М Недра, 1972. Т. 14 (Урал).
34. Голубева Л. В. Геоморфология заповедника «Предуралье» // Изв. Ест.-науч. ин-та. Пермь, 1948. Т. 12, № 6.
35. Голубева Л. В. Некоторые наблюдения над карстовыми воронками в заповеднике «Предуралье» // Бюл. комиссии по изуч. четв периода АН СССР. 1951. № 16.
36. Голубева Л. В. Карстовые явления окрестностей села Павлово Ординского района Пермской области // Учен. зап. Перм. ун-та. 1955. Т. 9, вып. 1.
37. Голубева Л. В. Карстовые явления в долине р. Ирени в Кунгурском районе Пермской области // Учен. зап. Перм. ун-та. 1956. Т. 7, вып. 4.
38. Горбунова К. А. Карстовый провал//Природа. 1954. № 12.
39. Горбунова К. А. Карстово-эрозионные долины Усьвинского района Кизеловского каменноугольного бассейна//Учен. зап. Перм. ун-та. 1955. Т. 9, вып. 1.
40. Горбунова К. А. Карст приустьевой части р. Чусовой // Учен. зап. Перм. ун-та. 1956. Т. 10, вып. 2.
41. Горбунова К. А. Районирование карста Пермской области//Тез. докл. на совещ. по изучению карста. м., 1956. Вып. 9.
42. Горбунова К. А. Геоморфология окрестностей с. Усть-Кишерть Пермской области//Учен. зап. Перм. ун-та. 1957. Т. 11, вып. 2.
43. Горбунова К. А. К характеристике Ключевского участка Кишертско-

Суксунского карстового района//Учен. зап. Перм. ун-та. 1959. Т. 14, вып. 1.

44. Горбунова К. А. Типы карста и факторы карстообразования на примере карстовых районов Пермской области//Зап. Перм. отд. Геогр. об-ва СССР. Пермь, 1960. № 1.

45. Горбунова К. А. Формирование карстовых брекчий восточного крыла Уфимского вала в свете гидрогеологических данных // Изв. высших уч. заведений. Геол. и разведка. 1960. № 10.

46. Горбунова К. А. История изучения карстовых пещер Пермской области. Ч. Г. 1703—1917 гг. // Пещеры, 1961. Вып. 1.

47. Горбунова К. А. История изучения карста и пещер Пермской области после Великой Октябрьской социалистической революции (1917— 1955 гг.)//Пещеры. Пермь, 1962. Вып. 2.

48. Горбунова К. А. Карстовые воды района селения Ключи // Гидрогеология и карстование. Пермь, 1962. Вып. 1.

49. Горбунова К. А. Карстовые озера окрестностей д. Дикое Озеро // в География Пермской области. Пермь, 1962. Вып. 1.

50. Горбунова К. А. Озера гипсового карста // Гидрогеология и карстование. Пермь, 1962. Вып. 1.

51. Горбунова К. А. Особенности рельефа Кишертско-Суксунского карстового района//География Пермской области. Пермь, 1962. Вып. 1.

52. Горбунова К. А. Эволюция гипсового карста//Науч. тр. Перм. политех. ин-та. Геол. науки. Пермь, 1962. Сб. 12, вып. 1.

53. Горбунова К. А. Опыт детальных гидрогеологических исследований карста на примере восточного крыла Уфимского вала // методика изучения карста. Пермь, 1963. Вып. 6.

54. Горбунова К. А. Подрусловые карстовые полости и их отложения//Пещеры. Пермь, 1963. Вып. 3.

55. Горбунова К. А. Карст и подземные воды района пос. Суксун // Науч. тр. Перм. политех. ин-та. Геол. науки. Пермь, 1964. Сб. 12. Вып. 2.

56. Горбунова К. А. Озера гипсового карста стадии приподнятой равнины // География Пермской области. Пермь, 1964. Вып. 2.

57. Горбунова К. А. Особенности гипсового карста. Пермь, 1965.

58. Горбунова К. А. Опыт изучения плотности карстовых форм // География Пермской области. Пермь, 1966. Вып. 3.

59. Горбунова К. А. морфометрическая характеристика карбонатного карста // Карст Урала и Приуралья: материалы Всеурал. совещ. Пермь 1968.

60. Горбунова К. А. \_ Карст гипса СССР. Пермь, 1977.

61. Горбунова К. А. морфология и гидрогеология гипсового карста. Пермь, 1979.

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

63. Горбунова К. А. Пещеры // Горная энциклопедия. м., 1989. Т. 4.

64. Горбунова К. А., Гурьева Н. Г., Шистерова И. А. К геохимии глин Дивьей пещеры//Пещеры. Пермь. 1969. Вып. 7 (8).

65. Горбунова К. А., Максимович И. Г. Типы обстановок карстообразования на территории СССР//Инж. геология. 1988. Хч 4.

66. Горбунова К. А., Максимович Н. Г., Андрейчук В. И. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области. Пермь. 1990.

67. Дорофеев Е. П. Новый план Кунгурскон Ледяной пещеры//Пещеры. Пермь, 1965. Вып. 5 (6).

68. Дорофеев Е. П. Взаимосвязь подземных и поверхностных карстовых форм на примере Кунгурской пещеры // Проектирование, строительство и эксплуатация земляного полотна в карстовых районах. М., 1968.
69. Дорофеев Е. П. Соотношение размеров провальных впадин и карстовых полостей в сульфатных породах // Вопросы карстологии. Пермь, 1970. Вып. 2.
70. Дорофеев Е. П., Лукин В. С. Карстовые мульды оседания в северной части Соликамской депрессии // Вопросы карстологии. Пермь, 1969.
71. Дорофеев Е. П., Шигабудинова Г. А. Изучение карстовых форм рельефа в районе г. Кунгура с инженерно-геологическими целями // Вопросы инженерного карстологии: Тез. докл. Кунгур, 1972.
72. Ежов Ю. А. Изучение вертикальной гидродинамической зональности карстующихся толщ Кнзельского каменноугольного бассейна // Тр. ин-та геологии УФАН СССР. Свердловск, 1962. Вып. 62.
73. Ежов Ю. А. Закарстованность карбонатных толщ Кнзельского каменноугольного бассейна // Тр. ин-та геологии УФАН СССР. Свердловск, 1962. Вып. 62.
74. Ежов Ю. А. О древней закарстованности вишевских известняков и доломитов Кнзельского угленосного района // Гидрогеол. сб. № 3: Тр. Ин-та геологии УФАН СССР. Свердловск, 1964. Вып. 69.
75. Иконников Е. А., Костарев В. П. Новые данные о карсте рек Барды и Шаквы // Вопросы карстологии. Пермь, 1969.
76. Иконников Е. А. Условия развития карста северной части Юрюзанно-Сылвинской депрессии // Гидрогеология и карстология. Пермь 1975. Вып. 6.
77. Иконников Е. А., Костарев В. П. О глубинной закарстованности поповской свиты кунгурского яруса западного крыла Юрюзанно-Сылвинской депрессии // Вопросы карстологии. Пермь, 1970. Вып. 2.
78. Иконников Е. А., Костарев В. П. Карст и его влияние на формирование подземных вод Юрюзанно-Сылвинской депрессии // Карст мраморов, доломитов, рифов, извест. туфов и галогенных отложений: Тез. докл. Пермь, 1978.
79. Иконников Е. А., Крутое В. м. Кластокарстовые явления в северной части Юрюзанно-Сылвинской депрессии и их гидрогеологическое значение // Гидрогеология и карстология. Пермь, 1971. Вып. 4.
80. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Башкирской АССР. ВСН 2-86. Уфа, 1986.
81. Клементьев В. П., Еременко Ю. П., Колпашиков Г. А. Уплотнение галитовых отходов как фактор защиты подземных вод от проникновения в них рассолов // ДАН БССР. 1973. Т. 17, № 3.
82. Копнин В. И. Некоторые особенности соляного карста в районе Верхнекамского месторождения // Гидрогеол. сб. № 3- Тр ин-та геологии УФАН СССР. Свердловск, 1964. Вып. 69.
83. Костарев В. П. Карст Предуральяского прогиба // Геология и полезные ископаемые Урала. Свердловск, 1969. Ч. 1.
84. Костарев В. П. Карст Саркаевского месторождения и его влияние на качество гипсового сырья // Карст мраморов, доломитов, рифов, известковых туфов и галогенных отложений: Тез. докл. Пермь, 1978.
85. Костарев В. П. О количественных показателях карста и их использовании при инженерно-геологической оценке закарстованных территорий // Инж.-строит. изыскания. м., 1979. № 1.

86. Костарев В. П. Оценка устойчивости закарстованных территорий Предуралья на стадиях генплана и детальной планировки // Информ. листок / ЦНТИ. Пермь, 1981. Л» 81—52.
87. Костарев В. П. К изучению геолого-гидрогеологических условий развития карста Кишертско-Суксунского района // Состояние, задачи и методы изучения глубинного карста: Тез. докл. м., 1982.
88. Костарев В. П. Оценка карстоопасности трассы при строительстве магистральных газопроводов//Информ. листок/ЦНТИ. Пермь, 1984. № 106—84.
89. Костарев В. П., Димухаметов М. Ш. Об оценке карстоопасности и активизации карстопроявлений при строительстве магистральных газопроводов // Пробл. изуч. техногенного карста: Тез. докл. Пермь, 1988.
90. Костарев В. Я., Димухаметов М. Ш., Иванцов Л. Б. Сульфатный карст района с. Серги // Карст мраморов, доломитов, рифов, известковых туфов и галогенных отложений: Тез. докл. Пермь, 1978.
91. Костарев В. П., Изотов В. М., Димухаметов М. Ш. Особенности карбонатно-сульфатного карста и условия строительства в районе с. Согрино Пермской области // Карстовый процесс и его прогноз: Тез. докл. Уфа, 1980.
92. Костарев В. П., Димухаметов м. Ш., малахова Т. Г.. Карст Малой Шадейки//Комплекс, исслед. недр Зап. Урала — путь ускоренного развития народ, хоз-ва региона. Пермь, 1988.
93. Костарев В. П., Поздеев Ю. В. К обоснованию схемы инженерной защиты г. Кунгура от опасных геологических процессов. Там же,
94. Кротова Е. А. К геоморфологической характеристике Губахин-ского района Кизеловского каменноугольного бассейна // Учен. зап. Перм, ун та. 1955. Т. 10, вып. 2.
95. Кротова Е. А. История изучения пещер и карста Пермской области (1956—1964 гг.) //Пещеры. Пермь, 1966. Вып. 6 (7).
96. Кузнецова Л. С. Геоморфология и карст северных участков Кизеловского. каменноугольного бассейна//Учен. зап. Перм. ун-та. 1955. Т. 9, вып. 1.
97. Кузнецова Л. С, Чирвияский П. Н. Кальцитовые озерно-карсто-вые пленки и их вероятный генезис // минерал, сб. Львов, геол. об-ва. Львов, 1951. № 5.
98. Лавров И. А. Язвинские пещеры // Вопросы Уральской спелеологии: Докл. конф.
99. Лавров И. А. Пещеры мазуевской карстовой депрессии // Изучение уральских пещер: Докл. конф. Кунгур, 1992.
100. Лукин В. С. Провальные явления на Урале и в Предуралье// Гидрогеол. сб. № 3: Тр. ин-та геол. УФАИ СССР. Свердловск 1964. Вып. 69.
101. Лукин В. С. Усиление провального процесса на застроенных участках // Вопросы инженерного карстования: Тез. докл. Кунгур, 1972.
102. Лукин В. С, Ежов Ю. А. Карст и строительство в районе Кунгура. Пермь, 1975.
103. Лукин А. В., Ежов Ю. А. Крупномасштабное инженерно-геологическое районирование территории с. Красный Ясыл Пермской области // Карст Нечерноземья: Тез. докл. Пермь, 1980.
104. Лукин В. С, Лаптев И. Х., Шаньгин Ю. И. Исследование провальных явлений на закарстованных побережьях Камского водохранилища // Разведка и охрана недр. 1963. X» 12.
105. Лукин В. С, Логинов Н. Х., Трапезников Ю. И. и др. Карст и условия строительства в районе пос. Полазна Пермской области // Вопросы проектирования.

Пермь, 1963.

106. Лунев Б. С, Копнин В. И. Генезис некоторых форм рельефа Прикамья // Изв. Всес. геогр. об-ва. 1964. Т. 96. № 6.

107. макеев З. А. Принципы инженерно-геологического районирования карстовых областей // Карстоведение. Молотов, 1948. Вып. 4.

108. Максимович Г. А. Спелеографический очерк Молотовской области//Спелеологический бюллетень. Молотов, 1947. № 1.

109. Максимович Г. А. Распространение и районирование карста СССР// Гидрогеология и карстоведение. Пермь, 1962. Вып. 1. ,

110. Максимович Г. А. Основы карстоведения. Пермь, 1963. Т. 1; 1969. Т. 2.

111. Максимович Г. А., Вохмянина Е. И. Геоморфологическая карта Пермской области//Информ. листок/ЦНТИ. Пермь, 1979. № 179.

112. Максимович Г. А., Голубева Л. В., Горбунова К. А. Карстовые провалы в с. Усть-Кишерть Пермской области // Природа. 1950. № 4.

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

114. Максимович Г. А., Горбунова К. А. Некоторые карстовые провалы в Кишертско-Суксунской карстовом районе//Зап. Перм. отд. Геогр. об-ва СССР. 1960. Вып. 1. 1

115. Максимович Г. А., Горбунова К. А. Подземные воды с. Усть-Кишерть и их загрязнение // Докл. V Всеурал. совещ. по вопросам геогр. и охраны природы Урала. Пермь, 1960.

116. Максимович Г. А., Горбунова К. А. Типы карста Урала//Тр. моск. об-ва испыт. природы. 1965. Т. 15.

117. Максимович Г. А., Горбунова К- А., Оскотский А. м. Гидрохимические фации и загрязнение подземных вод селения Березовка // Химическая география и гидрогеохимия. Пермь, 1963. Вып. 2 (3).

118. Максимович Г. А., Горбунова К. А., Ященко Р. В. Особенности химического состава грунтовых вод района селения Ключи // Химическая география и гидрогеохимия. Пермь, 1963. Вып. 2 (3).

119. Максимович Г. А., Иконников Е. А. Карст северной части Юрюзано-Сылвинской депрессии//Карст и гидрогеология Предуралья: Тр ин-та геологии и геохимии УНЦ АН СССР. Свердловск, 1979. Вып. 140.

120. Максимович Г. А., Костарев В. П. Карст складчатого Урала// Карст Урала и Приуралья. Пермь, 1968.

121. Максимович Г. А., Костарев В. П. Карстовые районы Урала и Приуралья // Вопросы физ. географии Урала: Учен. зап. Перм. ун-та. 1973. № 308.

122. Максимович Г. А. Панарина Г. Н. Пещеры карбонатного карста Пермской области // Вопросы карстоведения. Пермь, 1969,

123. Максимович Г. А., Панарина Г. П., Аникина Т. И. Опыт типизации и морфометрической характеристики пещер карбонатного карста Пермской области//Пещеры. Пермь, 1970. Вып. 8—9.

124. Максимович Г. А., Шимановский Л. А. Карстовый провал у с. Брехово Суксунского района Пермской области//Учен. зап. Перм. унта. 1956. Т. 10, вып. 2.

125. Максимович И. Г., Сергеев В. И. Влияние химического, инъекционного закрепления на устойчивость гипса в основании гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 1983. № 7

126. маменко Г. К. Камская плотина на р. Каме // Геология и плотины. 1967. Т. 5.

127. маменко Г. К. Изучение сохранности гипсоносных пород в ос новании Камской гидроэлектростанции // Гидротехническое строительство, 1969. № 5.

128. Михайлов Г. К., Булдаков Б. А., Иванов М. И. Режим карстовых родников в центральной части Уфимского плато // Вопросы карстоведения. Пермь, 1969.
129. Михайлов Г. К., Тюрина И. м., Булдаков Б. А. Удельный приток карстовых вод в дренажи как показатель структурно-тектонических условий // Карст Урала и Приуралья. Пермь, 1968.
130. Молдавская Е. А., Овсенко В. В. Опыт изысканий линий электропередач 220 кВ в карстовых районах // Электрические станции. М., 1958. № 9.
131. Панарина Г. Н. История изучения пещер Пермской области (1965—1970 гг.) // Пещеры. Пермь, 1971. Вып. 10—11.
132. Печеркин А. И., Закоптелов В. Е. Карст и суффозия на берегах водохранилищ: Учеб. пос. Пермь, 1982.
133. Печеркин И. А. Шахтные воды Кизеловского каменноугольного бассейна // Тр. ГГИ УФА. Свердловск, 1960. Вып. 48.
134. Печеркин И. А. Притоки карстовых вод в горные выработки Кизеловского каменноугольного бассейна // Спец. вопр. карстоведения. м., 1962.
135. Печеркин И. А. Геодинамика побережий камских водохранилищ. Пермь, 1969. Т. 2.
136. Печеркин И. А., Карзенков Г. И., Мацкевич И. К. Эфемерные пещеры // Пещеры. Пермь, 1965. Вып. 5 (6).
137. Печеркин И. А., Мурдасов м. Д. Карстологическое районирование Ползненского полуострова // Геология и петрография Западного Урала: Учен. зап. Перм. ун-та. 1974. № 283.
138. Печеркина Л. В. Гидрогеология и гидрохимия Ползненского гипсоангидритового массива / Перм. ун-т. Пермь 1983. Деп. в ВИНТИ. № 3366—83.
139. Плюснин К. П. Карстовые явления в южной части Ординского района Пермской области // Тез. докл. Перм. карст. конференции. Пермь, 1947.
140. Попов И. Б., Нельзин Л. П., Морозов Г. Г. и др. О карсте истоков р. Вишеры // Минеральные ресурсы Западного Урала и их народнохозяйственное значение: Тез. докл. Пермь, 1983. Ч. 1.
141. Орлянкин С. м. Геология, гидрогеология и соленость Колво-Вишерской водораздельной области и граничащих с ней участков // Зап. Всерос. минер. об-ва. 1941. Ч. 70, вып. 1.
142. Рекомендации по защите эксплуатируемых гражданских зданий в карстовых районах / Госстрой СССР. Киев, 1989.
143. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР / Госстрой СССР. М., 1967.
144. Рекомендации по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты. М., 1987.
145. Саваренский И. А. Детальный анализ неравномерности распространения и развития карста на примере г. Дзержинска Горьковской области // Инж. изыскания в строительстве. м., 1977. Вып. 6 (59).
146. Сивинцев м. Ю., Чухланцев В. А. Дивья пещера — 9720 м // Пещеры: Типы и методы исследования: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1984.
147. СНиП 1.02.07—87. Инженерные изыскания для строительства / Госстрой СССР. м., 1988.
148. Степанов И. С. Ярусность рельефа и россыпи на примере западного склона Среднего и Северного Урала // Науч. тр. Перм. политех. ин-та. 1966. Сб. 20.
149. Сычкина Г. А., Сычкин Г. Н. Геологические и гидрогеологические условия

формирования эрозионно-карстовых депрессий западного склона Урала// Науч. тр. Перм. политех, ин-та. 1966. Сб. 20.

150.. Толмачев В. В., Карпов Е. Г. Инженерно-геологические изыскания в условиях карстовых явлений для промышленного и гражданского строительства: Зарубежный опыт / Госстрой СССР. м., 1980.

151. Толмачев В. В., Троицкий Г. М., Хоменко В. П. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. м., 1986.

152. Турышев А. В. О формировании депрессий вдоль склонов Уфимского плато // Вопросы геоморфологии и новейшей тектоники Волго-Уральской области и Южного Урала. Уфа, 1960.

153. Турышев А. В. Особенности подземного стока и разгрузки трещинно-карстовых вод северной части Уфимского плато // Гидрогеологический сб. № 2: Тр. ин-та геологии УФАИ СССР. Свердловск, 1962. Вып. 62.

154. Турышев А. В. Гидродинамические и гидрохимические особенности развития карста в карбонатных и сульфатных породах // Проектирование, строительство и эксплуатация земляного полотна в карстовых районах. М., 1968.

155. Химическая география и гидрогеохимия Пермской области. Пермь, 1967.

156. Чашин С. П., Панарина Г. //, Тиунов М. П. Новые данные по спелеофауне Пермской области//Пещеры. Пермь, 1971. Вып. 10—11.

157. Чикишев А. Г. Карст в бассейне, р. Чусовой на западном склоне Среднего Урала // Региональное карстование: Тр. совещ. по регион. карстоведению. М., 1958.

158. Чикишев А. Г. Крупнейшая карстовая пещера Урала//Проблемы физической географии Урала. м., 1966.

159. Шестов И. Н., Шурубор А. В. Чусовское озеро и его происхождение//Хим. география и гидрогеохимия. Пермь, 1963. Вып. 2 (3).

160. Шестов И. И., Шурубор А. В. Химический состав некоторых карстовых озер Предуральяского прогиба//Хим. география и гидрогеохимия, Пермь, 1963. Вып. 2 (3).

161. Шимановский Л. А. Подземные воды сельскохозяйственных районов юго-востока Пермской области и возможности их использования. Пермь, 1958.

162. Шимановский Л. А. Изучение карста при мелкомасштабных гидрогеологических съемках на примере Уфимского плато и прилегающих территорий // Методика изучения карста. Пермь, 1963. Вып. 6.

163. Шимановский Л. А. Кластокарст Юрюзано-Сылвинской депрессии//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1964. № 2.

164. Шимановский Л. А. Кунгурские конгломераты и конгломерато-брекчии Юрюзано-Сылвинской депрессии и их роль в рельефообразовании и гидрогеологии // Гидрогеология и карстование. Пермь 1964 Вып. 2.

165. Шимановский Л. А. Формирование и сток карстовых вод Уфимского плато // Гидрогеология и карстование. Пермь, 1966. Вып. 3.

166. Шимановский Л. А., Сычкина Г. А. Гидрогеологическая характеристика бассейна р. Большой Колчим на Северном Урале // Геология и петрография Западного Урала: Учен. зап. Перм. ун-та. 1974. № 283.

167. Шимановский Л. А., Сычкина Г. А. Карст и карстовые воды доломитов деминской и низьвенской свит в бассейне р. Б. Колчим // Карст мраморов, доломитов, рифов, известковых туфов и галогенных отложений: Тез. докл. Пермь, 1978.

168. Шимановский Л. А., Сычкина Г. А., Иванов А. А. К характеристике карста бассейна р. Северный Колчим // Вопросы карстования. Пермь, 1970. Вып. 2.

169. Шимановский Л. А., Шимановская И. А. Пресные подземные воды Пермской области. Пермь, 1973.



170. Шимановский Л. А., Шимановская И. А., Сычкина Г. А. Восточная окраина Восточно-Русского артезианского бассейна // Гидрогеология СССР. М., 1972. Т. 14 (Урал).
171. Шимановский Л. А., Хурсик В. З. К характеристике карста Юрюзанно-Сылвинской депрессии//Карст Урала и Приуралья. Пермь, 1968.
172. Шумков В. М. Пещера Темная // Пещеры. Пермь 1965 Вып. 5 (6).
173. Щеглов В. Д., Колясников И. А. Дивья пещера // Пещеры Пермь, 1964. Вып. 4 (5).
174. Яковенко П. И. Развитие карстовых процессов Среднего Предуралья // Проектирование, строительство и эксплуатация земляного полотна в карстовых районах. М., 1968.
175. Яковенко П. И. Сульфатный карст Среднего Предуралья//Карст Урала и Предуралья. Пермь, 1968.
176. Ястребов Е. В. Дивья пещера. Пермь, 1958.
177. Яценко Р. В. К химической географии карстовых озер Ирэнско-Сылвинского междуречья // Вопросы карстоведения. Пермь, 1969.
178. Яценко Р. В. Карстовые озера Сылвинско-Шаквинского междуречья//Вопросы физ. геогр. Урала: Учен. зап. Перм. ун-та. 1975. № 329.
179. Яценко Р. В. Пещеры Предуралья — памятники природы и истории культуры//Вопросы Уральской спелеологии: Тез. докл. конф Пермь, 1989.

Карстовые пещеры Пермской области протяженностью более 50 метров (по состоянию на 1 октября 1991 г.)

№ на карте	Название карстового района, пещеры	Протяженность, м
Ксенофонтовский		
1	Дивья	9750
2	Водопадная (Ручей Алай)	130
Полазнинский		
1	Полазнинская	68
2	Малая Дивья	1000
3	Белой Горы	53
4	Гармоновская	65
6	Куликовская Ледяная	62
6	Куликовская Теплая	58
Нижнесылвинский		
1	Октябрьская-1	194
2	Октябрьская-2	290
3	Октябрьская-3	70
4	Кичменская Ледяная	470
5	Дырихинская	60
6	Пермско-Сергинская-2 (Сергинская)	50
7	Закуринская	300
8	Зуятская	1410
9	Большая мечкинская	350
10	Снегиревская (Настенькина)	115
11	Сычужовская	100
12	Монастырская-1	285
13	Монастырская-2	100
14	Средняя Казаевская	60
15	Нижняя Казаевская *	80
16	Большая Подкаменная (Каменная)	65
17	Бабиногорская *	220
18	Заиренская (Иренская Ледяная) **	65
19	Пиликинская *	80 -
20	Кунгурская Ледяная	5600

№ на карте	Название карстового района, пещеры	Протяженность, м
Иренский		
1	Верхняя Поповская	75
2	Тураевская	50
3	Захаровская	52
4	Оптимист	310
5	Пономаревская	300
6	Пономаревская-2	50
7	Пономаревская-3	105
8	Ясылская	50
9	Денисовская	70
10	Дмитриевская	52
11	Нижнемихайловская-1	80
12	Нижнемихайловская-2	1400
	(Нижнемихайловская)	
13	Чураковская	50
14	Уинская-3 (Кашинская)	220
15	Уинская Ледяная (Мертвеца)	227
Кишертский		
1	Варсанофьевой	200 ;
2	Варсанофьевой-2 (Варсанофьевой) **	66
3	Варсанофьевой-3 **	50
4	Горенка	100
Средневишерский		
1	Холодная	50
2	Березовская	70
3	Медео (Бадьинская Ледяная)	60
4	Еранка	>500
5	Варышская	50
6	Черная	190
7	Говорухинская Ледяная	85
8	Органная	120
9	Каньонная (Дыроватская, Бушменевская)	90

№ на карте	Название карстового района, пещеры	Протяженность, м
10	Писаная-1	56
11	Писаная-2 (Темная)	95
12	Писаная-3	100
13	Акчимская Ледяная	70
14	Мутихинская-1	74
15	Мутихинская-2	60
16	Язьвинская	300
Кизеловский		
1	Ульвичская	150
2	В Камешках	59
3	Тихого Камня	173
4	Шатровская	62
5	Родничная (Пещерного Лога)	80
6	Большая махневская	584
7	Малая махневская (Махневская-1)	75
8	Махневская-2 (Мертвая, Дракон)	60
9	Махневская-3 (Носорожий Грот)	68
10	Тайн (Большая Березовская)	508
11	Копижная (Чаньвинская, Вогульская)	68
12	Чаньвинская-1 (Дующая, Фантазия)	50
13	Подземных Охотников (Стадника).	190
14	Большая Всеволодовская (Холодная)	67
15	Лабиринт	50
16	Снежинка (Снежная, Австрийская)	100
17	Двухэтажна (Власовская)	72
18	Кольцевая	89
19	Кизеловская Виашерская	7600
20	Расик (Лабиринт)	140
21	Ленинка	77
22	Кизеловская медвежья	710
23	Колбасная	180
24	Емельяновская	260
25	Темная	1300

№ на карте	Название карстового района, пещеры	протяженность, м
26	У Темной	77
27	Параллельная	425
28	Наклонная (Колючая)	170
29	Золотой Каньон **	170
30	Мариинская	1000
31	Труда	60 ;
32	Проворова	125
33	ш. Холодная (Правый Сапог)	70
34	Косьвинская (Аэродромная)	143
35	Привокзальная	52
30	Ладейная	100
37	Ладейная-2 (Надладейная)	103
38	Обвальная (Максимовича)	500
39	Российская	1450
40	Новогодняя Ладейная	65
41	Куница	150
42	Костоватик	56
43	Геологов-2	3400
44	Геологов-1	450
45	Ледника (Усьвинская Ледяная)	85
40	Ребристая	600
47	Безгодовская	ПО
48	Высоцкого	163
49	Усьвинская медвежья	170
50	Нагорнская Ледяная	50
51	Первомайская	160
52	Динамитная	130
53	Усьвинская-1	80
54	Усьва-Угольная	95
Чусовской		
1	Большая Опокинская***	188
2	Большая Пашийская	522
3	Канабековская	80

Окончание

№ на карте	Название карстового района, пещеры	Протяженность, м
4	Назаровская	100
5	Глухая Ледяная	123
6	Малая Глухая (Ледяная)	59
7	Шантарская	56
8	Голубое Озеро	240
9	Обманка-2	191
10	Большая Куртымская	150
11	Печка	50
12	Чудесница	512
13	Грифон-1	65
14	Трех мышей	57
15	Большая Поньшская	188
16	Гремящий Воклюз	70
Верхневишерский		
1	Лыпинская-1	50
2	Лыпинская-2	75
3	Большая Вёлсовская	280

Примечание: \* — Вход в пещеру засыпан (завален) \*\* — Пещера заилена \*\*\* — Пещера находится в Опокинском карстовом участке

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Общие сведения о территории Пермской области	5
Основные понятия и термины	11
Карст и условия его проявления	11
Карстовые формы	15
К истории изучения и районирования карста Пермской области	19
Карстовые районы восточной окраины Восточно-Европейской платформы и прилегающих частей Предуральяского прогиба	22
Ксенофонтовский район преимущественно гипсового карста	22
Полазнинский район преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста	29
Нижнесылвинский район гипсового и карбонатно-гипсового карста	45
Иренский район преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста	58
Район карбонатного карста Уфимского вала	69
Кишертский район преимущественно гипсового и карбонатно-пшсового карста	74
Карстовые районы Верхнепечорской впадины и Соликамской депрессии Предуральяского прогиба	84
Вишерский район соляного и гипсового карста	84
Соликамский район преимущественно соляного карста	87
Карстовые районы Юрюзано-Сылвинской депрессии Предуральяского прогиба	97
Осинцевский район закрытого соляного и гипсового карста	99
Ачитский район гипсового карста и кластокарста	99
Кордонский район преимущественно закрытого гипсового карста	99
Карстовые участки	100
Карстовые районы Западно-Уральской складчатой зоны	102
Средневишерский район карбонатного карста	105
Кизеловский район карбонатного карста	107
Чусовской район карбонатного карста	117
Карстовые районы Центрально-Уральского поднятия	120
Верхневишерский район карбонатного карста	122
Верхнекозьвинский район карбонатного карста	124
Верхнеусьвинский район карбонатного карста	124
Деятельность человека и ее влияние на карст	125
Виды деятельности человека в карстовых районах.	125
Влияние горно-промышленной деятельности на карст в Кизеловском каменноугольном бассейне	127

Антропогенный карст на Верхнекамском месторождении калийных солей	133
Гидротехническая деятельность и ее влияние на карст	146
Селитебная деятельность и ее влияние на карст	156
Инженерно-геологические изыскания и строительство в карстовых районах	159
Условия и факторы, определяющие устойчивость закарстованных территорий	159
Изыскания для целей промышленного и гражданского строительства	170
Изыскания в зонах линейных сооружений	175
Заключение	181
Библиографический список	185
Карстовые пещеры Пермской области протяженностью более 50 метров (по состоянию на 1 октября 1991 г.)	194

Научное издание

Горбунова Клара Андреевна  
 Андрейчук Вячеслав Николаевич  
 Костарев Виталий Петрович  
 Максимович Николай Георгиевич

Карст и пещеры Пермской области

Редактор Е. А. Огиенко  
 Технический редактор Л. Г. Подорова  
 Корректор В. И. Чудинова

ИБ № 25

Подписано в печать 24.04.92. Формат 60X841/16. Бум.  
 тип. № 2. Печать высокая. Гарнитура литературная.  
 Усл. печ. л. 11,62. Уч.-изд л. 11,5. Усл. кр.-отт. 11,5.  
 Тираж 1000 экз. Заказ 66. С 12.

Издательство Пермского университета.  
 61.4600, Пермь, ул. Букирева, 15

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