

Карстовые явления и процессы, приводящие к их возникновению, связаны с растворимыми в воде горными породами. Они наблюдаются в известняках, доломитах и переходных между ними разностях карбонатных пород (доломитистые и доломитовые известняки, известковистые и известковые доломиты), известковых конгломератах и брекчиях, мелу, при некоторых условиях — в мелоподобных мергелях, мраморе, а также в гипсе, ангидриде, каменной соли, калийных, калийно-магниевых и других соляных породах.

Растворимые в воде горные породы распространены на поверхности Земли очень широко. Суммарная площадь, занятая обнаженными и погребенными под иными геологическими образованиями карстующимися породами, по приближенным подсчетам Г. А. Максимовича (1947, 1963¹), составляет более 50 млн. кв. км (под карбонатными породами — до 40 млн. кв. км, сульфатолитами, т. е. гипсами и ангидритами, — около 7 млн. кв. км, галолитами — до 4 млн. кв. км). Насколько велика эта площадь, можно видеть из сравнения с территорией СССР, которая составляет 22,4 млн. кв. км, т. е. приблизительно одну шестую часть обитаемой площади суши. Таким образом, в силу литологических условий карстовые явления могут возникать на огромных пространствах Земли. Это отнюдь не редкостные явления, какими считались они ранее при слабой географической и геологической изученности отдельных стран и поверхности Земли в целом, а чрезвычайно широко распространенные. И поэтому вопреки мнению недостаточно осведомленных географов и геологов изучение карстовых явлений, карстовых ландшафтов и карстовых процессов пред-

¹ Выделенные при ссылках курсивом литературные источники помещены в списке общей литературы, остальные — в списках по отдельным главам.

Карстовые явления и процессы, приводящие к их возникновению, связаны с растворимыми в воде горными породами. Они наблюдаются в известняках, доломитах и переходных между ними разностях карбонатных пород (доломитистые и доломитовые известняки, известковистые и известковые доломиты), известковых конгломератах и брекчиях, мелу, при некоторых условиях — в мелоподобных мергелях, мраморе, а также в гипсе, ангидриде, каменной соли, калийных, калийно-магниевых и других соляных породах.

Растворимые в воде горные породы распространены на поверхности Земли очень широко. Суммарная площадь, занятая обнаженными и погребенными под иными геологическими образованиями карстующимися породами, по приближенным подсчетам Г. А. Максимовича (1947, 1963¹), составляет более 50 млн. кв. км (под карбонатными породами — до 40 млн. кв. км, сульфатолитами, т. е. гипсами и ангидритами, — около 7 млн. кв. км, галолитами — до 4 млн. кв. км). Насколько велика эта площадь, можно видеть из сравнения с территорией СССР, которая составляет 22,4 млн. кв. км, т. е. приблизительно одну шестую часть обитаемой площади суши. Таким образом, в силу литологических условий карстовые явления могут возникать на огромных пространствах Земли. Это отнюдь не редкостные явления, какими считались они ранее при слабой географической и геологической изученности отдельных стран и поверхности Земли в целом, а чрезвычайно широко распространенные. И поэтому вопреки мнению недостаточно осведомленных географов и геологов изучение карстовых явлений, карстовых ландшафтов и карстовых процессов пред-

¹ Выделенные при ссылках курсивом литературные источники помещены в списке общей литературы, остальные — в списках по отдельным главам.

ставляет собой отнюдь не частную проблему геолого-географических наук.

Одно время к карстовым явлениям пытались относить внешне сходные с ними явления, но совершенно иные по своей природе, по генезису. Р. Зигер (Sieger, 1895), например, писал о карстовых формах в ледниках, собрав большой материал о карстоподобных формах, возникающих в результате таяния льда¹. Ссылаясь на этого автора, о карстовых явлениях в толщах льда упоминал А. А. Крубер (1915). Э. А. Мартель (Martel, 1921) в труде «Новый трактат о подземных водах» в одной главе (XV) рассмотрел подземные воды в гипсе, соли и льде. Для обозначения форм рельефа, возникших в результате таяния ископаемых льдов севера Сибири («непосредственного действия тепла»), М. М. Ермолаев (1932) предложил термин «термокарст», который получил широкое распространение. Термокарст стали относить к группе карстовых явлений². Появились упоминания и работы о «глинистом карсте» (Берг, 1902, 1908; Нацкий, 1916, 1926; Щербаков, 1930; Макеев, 1937; Кесь, 1939), при этом считали, что процесс, приводящий к его образованию, связан с растворением значительных масс солей, содержащихся в глинисто-мергелистых, гипсоносных песчано-глинистых и прочих рыхлых глинистых породах. Писали также о карстовых явлениях в лёссах (Решеткин, 1929). Когда выяснилось, что в большинстве случаев все эти явления имеют совершенно иную природу, чем карстовые, и обусловлены главным образом механической деятельностью воды (см. Гвоздецкий, 1954, гл. II), то и тогда продолжали писать о глинистом карсте, карсте в лёссах и объединяли их в особую группу карстовых явлений — «кластокарста» (Г. А. Максимович).

Такой формальный подход, противоречащий генетическому, нашел отражение в одном из основных докладов на карстовой конференции в Перми (Максимович, 1947) и в ее резолюции (Карстоведение, вып. 1, 1948). На той же конференции, однако, защищалась и противо-

¹ Эти формы иногда действительно внешне весьма похожи на карстовые, о чем свидетельствуют, например, описание и план пещеры Октябрьской на леднике Богдановича в Заилийском Алатау, имеющей общую протяженность ходов 1390 м, изобилующей ледяными сталактитами и колоннами, в том числе эксцентричной формы (Полуэктов, 1966).

² Термокарст и сейчас иногда упоминают среди типов неизвестнякового карста (Sweeting, 1968).

положная точка зрения, согласно которой карстовые явления должны строго связываться с растворимыми горными породами, а карстовый процесс — прежде всего с их растворением (коррозией) и выщелачиванием, формы же, лишь внешне сходные с карстом, но имеющие иную (не химическую, а физическую) природу, рассматриваются как псевдокарстовые образования¹ (Гвоздецкий, 1947). Относить же к категории карстовых явлений «карст ледников», «термокарст районов вечной мерзлоты», «карст» в лёссах и лёссовидных суглинках, «карст глин» и т. п. с этой точки зрения представлялось методологически неверным, ибо классификация не должна основываться на внешнем морфологическом сходстве, т. е. формальном признаке, в буквальном значении этого слова. В научной классификации следует прежде всего исходить из генезиса, сущности, природы явлений (Гвоздецкий, 1954, стр. 64).

Эта точка зрения вскоре стала господствующей среди советских карстоведов, что наглядно показано в специальной статье Д. С. Соколова «О содержании и объеме понятия «карст»» (1960). В настоящее время она может уже рассматриваться как общепринятая. Во всех определениях понятия «карст» последнего времени говорится о связи его с явлениями или процессами, наблюдающимися или происходящими в растворимых в воде горных породах. В одной части определений понятие «карст» относится к комплексу форм (в том числе и подземных) и гидрологических особенностей на участках распространения растворимых пород, в другой части — к процессу, обусловившему его появление.

Автор обосновал третий подход к определению понятия «карст», согласно которому под карстом следует понимать как совокупность процессов, так и созданные ими явления в земной коре и на поверхности Земли. «Термин «карст» охватывает как комплекс форм и гидрологических особенностей, так и процесс их развития. Отделять одно от другого невозможно» (Гвоздецкий, 1950, стр. 9; 1954, стр. 65). К этому мнению присоединился А. В. Ступишин, который отмечал, что «карст или карстовые явления» — это «единство карстового процес-

¹ Слова «псевдокарст», «псевдокарстовые образования» употребляются нами не как особые научные термины, а только как указание на то, что данные явления имеют с карстовыми лишь внешнее сходство, а по существу таковыми не являются.

са... и его результата...» (1953, стр. 28). И. В. Попов также предлагал термином «карст» обозначать «как процесс, так и его результаты» (1951, стр. 151). Такая трактовка понятия «карст» получила особенно широкое распространение после Московского совещания по карсту 1956 г., когда она была отражена во вступительном докладе И. В. Попова (1962).

Итак, под термином «карст» мы будем понимать явления, возникающие в растворимых водой горных породах, и совокупность процессов развития этих явлений, главенствующую роль среди которых играют химический процесс растворения и как следствие — геологический процесс выщелачивания горной породы. Карстовые явления выражаются комплексом специфических поверхностных и подземных форм, своеобразием свойств речной и озерной сети и циркуляции подземных вод. Объяснить особенности и специфику карстовых явлений позволяет глубокое изучение карстовых процессов, которому мы придавали (Гвоздецкий, 1954, стр. 65) и придаем огромное значение.

В отличие от Д. С. Соколова (1951, 1962) в понятие карстовых процессов мы включаем не только «процесс разрушения и уничтожения проницаемых растворимых горных пород посредством главным образом выщелачивания их движущимися водами» (Соколов, 1962, стр. 26), но и тесно связанный с ним процесс возникновения натеchno-капельных и других осадочных образований, т. е. процесс карстового литогенеза (Гвоздецкий, 1954, 1963). Единство этих процессов было показано еще в работах М. В. Ломоносова (см. гл. I данной книги). «Карстовый процесс связан именно с тем, — писал А. Е. Ферсман, — что по преимуществу карбонатные породы в одном месте растворяются, а в другом — отлагаются» (1952, стр. 23). Сталактиты, сталагмиты, кальцитовые занавеси, драпировки и прочие натеchno-капельные образования известняковых пещер все карстоведы мира считают карстовыми образованиями. Оторвать процесс растворения и осадкообразования один от другого в данном случае было бы так же неправильно, как, например, оторвать водноэрозионные процессы от водноаккумулятивных (Гвоздецкий, 1954, стр. 66) или же взрывные формы кратера вулканического конуса от его аккумулятивных образований. Приводя несколько иные доводы, Г. В. Короткевич также обосновывает необходимость

включать в понятие «карст» «возникновение в карстовых полостях или вне их натечных форм, а также других новообразований, генетически связанных и обусловленных карстовыми процессами» (1970, стр. 11). По П. Н. Чирвинскому, натечные формы пещер в растворимых породах являются «минеральными образованиями карста» (1950, стр. 84).

В главе I настоящей книги показано, как постепенно накапливались сведения о карстовых явлениях в нашей стране и как развивались представления об их генезисе в трудах отечественных ученых. На базе наших отечественных исследований в СССР сформировалось *карстование* в качестве особой отрасли знания (в системе геолого-географических наук), посвященной изучению карста. Г. А. Максимович определяет карстование как «учение о современных и древних явлениях в растворимых в воде горных породах, их образовании, развитии, распространении и практическом значении» (1963, стр. 10). Сходное по существу, но более громоздкое определение карстования давал ранее А. В. Ступишин (1953, стр. 27), но оно страдало некоторыми излишествами, что справедливо отметил Д. С. Соколов (1960).

Решение о необходимости выделить особую отрасль знания—карстование было принято в 1947 г. на карстовой конференции в Перми, которая продемонстрировала разносторонность ведущихся в СССР исследований и объединила результаты этих исследований в большой раздел науки. Название «Карстование» получили выпуски трудов этой конференции (опубликованы вып. I и 4, 1948). Следующее широкое совещание по карсту, имевшее значение всесоюзной конференции, состоялось в Москве в 1956 г. Его труды опубликованы в сборниках: «Общие вопросы карстования» (1962), «Специальные вопросы карстования» (1962) и «Региональное карстование» (1961). Эти названия отражают деление карстования на основные разделы: общее, региональное и прикладное карстование. Наша монография «Карст» в первом издании (1950) имела подзаголовок «Вопросы общего карстования», во втором, дополненном издании (1954) — «Вопросы общего и регионального карстования».

По своей сути карстование является отраслью знаний как геологии, так и географии. В трудах Ф. П. Саваренского (1935, 1939) и Д. С. Соколова (1951, 1962)

выпукло показаны основные условия развития карста. Таковыми являются: 1) наличие растворимой в воде горной породы, как правило, водопроницаемой вследствие трещиноватости или пористости¹, 2) наличие растворителя, т. е. воды, агрессивной по отношению к горной породе (для развития карста в карбонатных породах обязательно содержащей свободную углекислоту или другие кислоты), и 3) наличие условий, обеспечивающих водообмен, т. е. отток насыщенной растворенным веществом воды и постоянный приток свежего растворителя. Если первое условие определяется геологическими особенностями местности, то второе и отчасти третье тесно связаны с физико-географической обстановкой, второе — с климатом и почвенно-растительным покровом, определяющими обилие вод и их агрессивность, третье — с геоморфологической и гидрологической обстановкой, помимо геологической структуры и гидрогеологических особенностей. Вот почему в лучших геологических работах по карсту физико-географические условия, особенно климатические и геоморфологические, нередко и растительность, широко учитываются (Ф. П. Саваренский, А. Е. Ферсман, И. К. Зайцев, А. А. Колодяжная, Г. А. Максимович, И. В. Попов, Д. С. и Н. И. Соколовы, В. Н. Дублянский и др.)². Специфику же географических исследований карста составляет всесторонний учет физико-географической обстановки.

Особенностью изучения карста с географических позиций является анализ истории его развития не только в геологическом, но также в геоморфологическом и палеогеографическом аспектах, глубокий учет влияния всех компонентов географического ландшафта на развитие карста и выяснение обратного влияния карста на географический ландшафт в целом.

Географическое направление в изучении карста зало-

¹ Водопроницаемость горной породы не обязательна при растворении ее водой, циркулирующей в рыхлых отложениях на контакте с ней, и при поверхностном выщелачивании на площадях с наклоном, когда растворенное вещество удаляется поверхностным склоновым стоком, как, например, при образовании желобковых карров. Соляные толщи обычно бывают монолитны и водонепроницаемы, но они интенсивно выщелачиваются, главным образом с поверхности.

² Одной из основных закономерностей развития карста, сформулированных Д. С. Соколовым (1962, см. также «Памяти Д. С. Соколова», 1968), является теснейшая связь развития карста с климатом и растительностью.

жено трудами А. А. Крубера (1915), А. С. Козменко (1909, 1912—1913, 1931, 1953), А. С. Баркова (1932, 1957), И. С. Шукина (1933, 1964) и других исследователей. Сформулированные в предыдущем абзаце положения легли в основу нашей докторской диссертации «Карстовые области Большого Кавказа и проблемы морфологии карста на основе их изучения» (т. I—1946 г., т. II—1948 г.) и написанной в значительной части на основе этого исследования монографии «Карст» (1950, 1954). В концентрированном виде они отражены в статье «Проблемы карстования» (1958), которую рецензент статьи покойный Д. С. Соколов расценил как наше кредо в исследовании карста. Географическое направление получило развитие в трудах А. В. Ступишина (1956, 1967), Л. И. Маруашвили, В. А. Балкова, М. А. Зубашенко, Б. Н. Ивачова, Н. К. Кермова, Ш. Я. Кипиани, С. С. Коржуева, К. Г. Мгеладзе, М. А. Мусеинова, Ю. П. Пармузина, О. Ю. Пославской, З. К. Тинтилозова, Б. А. Федоровича, А. Г. Чикишева и многочисленных карстоведов-географов более молодого поколения (см. Чикишев, 1967). В настоящем труде, придерживаясь своей прежней позиции и углубляя ее, мы постарались усилить внимание к некоторым геохимическим, геологическим и прикладным аспектам исследования карста.

Из истории отечественного карстоведения

Первые сведения о карстовых явлениях на территории СССР

Выяснение истории накопления знаний о карстовых явлениях имеет прямое отношение к истории научного мировоззрения. По справедливому замечанию А. Н. Иванова (1958а), сведения о карстовых формах и гидрологических явлениях (пещерах, подземных водах, источниках, в том числе минеральных) играли существенную роль в развитии представлений о происхождении, строении и геологической жизни Земли, кругообороте воды в природе, химических процессах в земной коре.

По имеющимся в советской карстоведческой литературе данным, первое известное упоминание о карстовых явлениях в России содержится в книге арабского путешественника Ахмеда Ибн-Фадлана о его путешествии на Волгу в 921—922 гг. В этой книге отмечены три «бездонных» озера на территории волжских булгар. Считают, что это карстовые озера с котловинами провального происхождения — Чистое, Курышевское и Атаманское, находящиеся близ с. Три Озера в Татарской АССР (*Ступишин, 1967*). В сочинениях Бируни и Ибн-Сины (Авиценны), живших в конце X — начале XI в., есть указания на карстовые явления в Средней Азии.

Упоминания о пещерах встречаются в древних русских былинах. «Проходил Добрыня все пещерушки, приходил к последней ко двенадцатой — только тут нашел Забавушку Путятичну» — так говорится в былине «Второй бой Добрыни с змеем», где повествуется о том, как Добрыня по приказу князя Владимира ездил на гору Сорочинскую «ко пещерушкам змеиным» выручать племянницу князя, как победил змею Горынчище, проник в пещеры и освободил царевичей и королевичей — пленников змеи. О пещерах упоминается и в былине «Как перевелись богатыри на святой Руси»: «...испугались могучие богатыри, побежали к каменным горам, ко пещерушкам

ко темным» (Авенариус, 1885, стр. 47, 219; Иванов, 1958а).

Древние былины, содержащие, как известно, много вымысла, передавались из уст в уста, а записаны были значительно позднее. Если же обратиться к письменным источникам, имеющим характер исторических документов, то первое указание на карстовые пещеры нашей страны относится, по Г. А. Максимовичу, к 1268 г. Оно содержится в Новгородской первой летописи старшего извода, где описан поход на Раковор (г. Раквере Эстонской ССР) с участием новгородских войск. «Поидоша к Раковору месяца генваря 23; и яко внидоша в Землю ихъ и разделишася на 3 пути, и много множество ихъ воеваша. И ту наехаша пещеру непроходну, в неуже быше множество Чюди влезше, и быше нелзе ихъ взяти, и стояша 3 дни; тогда мастеръ порочныи хитростью пусти на ня воду, Чюдъ же набегоша сами вонъ, и исекоша ихъ...» (цитировано по Максимовичу, 1963, стр. 93). Затопленная новгородцами во время боя пещера находилась в карстовом районе северо-восточной Эстонии около Пюсси, между р. Нарвой, откуда был начат поход, и г. Раквере¹.

В народном эпосе говорится о зимовке Ермака со своими казаками в каменной пещере во время похода за Урал в начале 80-х годов XVI в. С приведенными нами в предыдущей книге о карсте (Гвоздецкий, 1954) строками из старинной песни «Ермак взял Сибирь» сходен текст русской былины «Ермак, покоритель Сибири»: «...нашли... на Чусовой реке во крутом кряжу пещеру каменну; опушались в пещеру, убиралися что не много и немало — триста молодцев. Хорошо тут было зиму зимовати им» (Авенариус, 1885, стр. 267; Иванов, 1958а). В. Севергин (1809) указывает, что Ермак зимовал в пещере у речки Сылвицы, правом притоке р. Чусовой.

В «Книге большому чертежу» (1950, стр. 140—141) на обороте листа 158 списка № 1330 имеется относящееся к 80-м годам XVII в. дополнение: «...а в горах Юрьевых (на правом берегу р. Волги выше устья Камы.— Н. Г.) в полгоры от Волги пещоры, а в них озера ледяные». Этот текст считают первым указанием на ледяные пещеры (Максимович, 1952).

¹ По мнению Ю. И. Хейнсалу (1970), пещеры, служившие населению убежищем во время военного похода новгородцев в 1268 г., могли находиться в обрыве Глинта на побережье Финского залива.

Исследования карстовых явлений в первой половине XVIII в.

Живший в Тобольске замечательный географ-картограф и этнограф С. У. Ремезов в 1703 г. выехал из своего города с сыном Л. С. Ремезовым в Кунгур, чтобы составить чертеж и описание Кунгура и Кунгурского уезда. Выполняя эту работу, С. У. и Л. С. Ремезовы сделали чертеж Кунгурской пещеры, который впоследствии был воспроизведен в книге Ф. И. Страленберга (Strahlenberg, 1730). В найденной А. И. Андреевым (1939) «Служебной чертежной книге» Ремезовых (Эрмитажное собр. Гос. публ. биб-ки в Ленинграде, № 237) по оглавлению значится «Чертеж Кунгурских пещер, лист 51». Чертеж этот в книге не сохранился, уцелели лишь снятые в Кунгурской пещере «тавры» (л. 69—70). Однако копия с исчезнувшего чертежа была обнаружена в архивах Академии наук в бумагах исследователя Сибири Д. Г. Мессершмидта, в экспедиции которого участвовал находившийся в России в качестве пленника швед Ф. И. Страленберг (Табберт). Уезжая из России в Швецию, Страленберг, очевидно, увез с собой чертежи Кунгурских пещер Ремезовых, которые и были воспроизведены в его книге (Андреев, 1939; Ступишин, 1955; Иванов, 1958а).

В книге Ф. И. Страленберга (1730, стр. 371) о Кунгурской пещере говорится следующее: «...удивительные подземные ходы, созданные природой, имеются в двух верстах от города Кунгура, в Угории, в крутом и высоком берегу реки Сылвы, состоящем из мягкого алебастра, из которого русские жгут гипс и в котором есть различные квартиры (помещения) и пещеры с признаками того, что в прежние времена в них обитали до сотни семей. Этот подземный ход имеет пожалуй 6 верст или милю в длину и половину того в ширину» (цитировано по А. Н. Иванову, 1958а, стр. 176). Никаких указаний и даже намеков на то, что Страленберг сам осматривал пещеру, в книге нет. Считают, что он Кунгурскую пещеру не посещал и что указание на него как на автора первого плана пещер в России и оригинального описания Кунгурской пещеры, которым было положено «начало... карстовой литературы в России» (Зубащенко, 1948, стр. 92; см. также «Карстоведение», 1948, стр. 3), было ошибочным.

Не посещал также Страленберг упомянутых в его книге (в разделе «Пещеры») пещер Печерской и Обской (Надимской), но вместе с тем он дал вполне оригинальное и содержательное описание пещеры на берегу Енисея между Красноярском и Абаканом, которое считают первым описанием карстовых форм Сибири (Ступишин, 1957)¹. Енисейскую пещеру Страленберг посетил в 1722 г., во время работы в экспедиции Д. Г. Мессершмидта. В этой пещере Страленберг отметил при входе многочисленные ледяные образования («сосульки») в виде шестигранных пирамид и высказал верное соображение об их образовании. Интересно утверждение Страленберга о том, что пещеры «имеются во множестве в Сибири и России» (Strahlenberg, 1730, S. 372 — 373; см. также: Ступишин, 1955; Иванов, 1958а).

В 1720—1724 гг. Кунгурскую пещеру и другие карстовые явления в районе городов Кунгура и Серьги на р. Сылве — пустоты, ямы-провалы, подземные реки — исследовал крупный ученый и государственный деятель первой половины XVIII в. В. Н. Татищев. Поводом к исследованию Татищевым карстовых явлений в Предуралье послужило представление жителей Сибири и Урала, будто мамонт, подземный зверь, ходит под землей, оставляя за собой рвы и ямы. В Кунгуре В. Н. Татищеву, прибывшему в 1720 г. в качестве начальника уральских и сибирских горных заводов, показали ямы, которые возникли якобы как провалы над подземными ходами мамонта. Татищев исследовал эти ямы и выяснил, что они возникли в результате деятельности подземных вод. Итоги исследований были изложены В. Н. Татищевым в трех статьях о мамонте (1725—1730 гг.), из которых две первые опубликованы, а третья, наиболее полная и обстоятельная, осталась в рукописи (Архив АН СССР, разряд II, опись 1, № 207) и опубликована лишь частично в изложении И. Г. Гмелина (1732 г.) в виде добавления ко второй из опубликованных статей. А. Н. Иванов (1957, 1958а) считает, что именно эта последняя ру-

¹ В этой заметке Ступишина имеется довольно странное указание на то, что ее автору «удалось выяснить» начало истории изучения карста Сибири. Исследование Страленбергом Енисейской пещеры в советской карстоведческой литературе отмечалось до опубликования статей Ступишина (1955, 1957), указывалось и на ошибку Ю. П. Пармузина в определении времени начала изучения карстовых форм Сибири (Гвоздецкий, 1954, стр. 12, 24—25).

копись дает основание признавать В. Н. Татищева основоположником отечественного карстоведения.

В. Н. Татищев исследовал целый комплекс явлений в их взаимной связи и обусловленности. Его заключения представляли выводы из собственных наблюдений. Он не только осматривал ямы снаружи, но опускался в один из провалов на канате, пытался проанализировать состав воды, следил за режимом источников. В своих исследованиях он был свободен от бытовавших в то время предвзятых теорий. В результате исследований Татищев установил, что возникающие над пещерами провалы имеют обычно форму округлых ям, не похожих на рвы, причем он видел не только старые провалы, но наблюдал и образование новых над Кунгурской пещерой и близ г. Серьги. Он выяснил, что провалы и пещеры возникают не всюду, а «на плоских высоких горах», которые под лежащими у поверхности водопроницаемыми слоями «имеют известной (известковый. — Н. Г.), или гипсовый камень». Пустоты в известняках и гипсах В. Н. Татищев рассматривает как следствие деятельности воды. Атмосферная вода, не имея поверхностного стока на плоских возвышенностях, уходит вглубь, достигает известняка или гипса и «выносит с собою легкие частицы». То, что Татищев исследовал состав вод и находил известь в источниках и реках окрестностей пещер, доказывает, что под выносом «легких» частиц он подразумевал процесс растворения («разведения», по терминологии XVIII в.).

В. Н. Татищев исследовал и описал в Кунгурском уезде выходы «из горы» мощных источников воклюзского типа (у г. Серьги, у с. Ключи и др.). В связи с этим он предположил, что некоторые подземные потоки могут впадать в реку скрыто, ниже уровня воды в ней, отметил обогащение воды во многих реках и источниках известью и другими веществами и объяснил это явление впадением подземных вод, несущих с собой известь, серу и пр. (Иванов, 1958а, стр. 174—175).

Уже из той рукописной статьи, о которой шла речь выше, мы узнаем, что В. Н. Татищевым были сделаны некоторые наблюдения в Кунгурской пещере, общую длину которой он оценивал приблизительно в одну версту. Он обнаружил в пещере озеро, из которого вода вытекает подземным потоком, а «собирается самыми малыми жилками сверху по стенам».

Получив книгу Ф. И. Страленберга (1730), В. Н. Та-

тищев остался неудовлетворенным помещенными в ней описанием и планом Кунгурской пещеры: «Описует Кунгурскую пещеру весьма неправильно, ибо видимо, что он сам в ней не был, но слыша написал. Я же сам в ней был и ныне нарочно посылал чертеж учинил, которое ни мало не согласует. После того оное описание и чертеж особно сообщу» (Библиотека АН СССР, Рукописное отделение, шифр 17, 9, 7, примеч. 105, к стр. 371 — цитировано по А. Н. Иванову, 1958а, стр. 175). Слова эти относятся к 1736 г., когда В. Н. Татищев вторично был на Урале и в Предуралье в качестве начальника горных заводов. Переслал ли Татищев описание Кунгурской пещеры и ее чертеж в Академию наук и сохранились ли они в ее архиве, не установлено. Немного позднее знакомство с предназначенным для русской учащейся молодежи учебником по математической и физической географии Г. В. Крафта (1739), в котором в числе пещер были упомянуты лишь две иностранные, побудило В. Н. Татищева напомнить, что «между великими несчерами есть небезизвестные в Руси Кунгурская...» (Архив АН разряд II, опись I, № 207, л. 75, цитировано по А. Н. Иванову, 1958а, стр. 178).

В работах 30-х и 40-х годов XVIII в. В. Н. Татищев, основываясь как на собственных наблюдениях, так и на других источниках, упоминает о различных пещерах и подземных реках Сибири и юго-востока Русской равнины (Татищев, 1950, стр. 36, 58, 62, 66, 158).

В 30-х годах XVIII в. интересные описания карстовых явлений в Кунгурском уезде и на р. Яйве в Соликамской провинции выполнил В. И. Геннин, который прибыл на Урал в 1722 г. и в течение десяти лет (1724—1734 гг.) заменял Татищева в должности начальника уральских и сибирских горных заводов. Возвратясь в Петербург, Геннин привез с собой сочинение «Генералом лейтенантом и кавалером ордена святого Александра Георгием Вильгельмом де-Генниным собранная натуралии и минералии камер в сибирских горных и заводских дистриктах также через его о вновь строенных горных заводских строениях и протчих куриозных вещах абрисы». Это сочинение при жизни Геннина не было опубликовано, лишь в 1828 г. часть «абрисов» была помещена в «Горном журнале». Полный текст сочинения напечатан в 1937 г.

В своем сочинении В. И. Геннин привел сведения о пещерах, в том числе о Кунгурской, упомянув о студе-

ном воздухе, и нес на ее каменных стенах и льде, дал также описание провальных ям и исчезающих под землю рек Кишерти и Мазуевки (Геннин, 1937, стр. 556, 570—572; Хабаков, 1950; Иванов, 1958а). Описания Геннина отличаются точностью и выразительностью: «Во.. Кунгурском уезде имеются великие и малые чистые ямы или провалины, подобием обращенного копуса, вверху широки, а внизу уски, под которыми слышно шум, якобы течение рек под землею...» (Геннин, 1937, стр. 572).

Помимо пещер, глубоких колодцев-пропастей в их полостях (в Соликамской провинции на р. Яйве), подземных озер (в Кунгурской пещере), провалов и исчезающих рек В. И. Геннин описал также оригинальные формы выветривания известняков: «...по оной горе (у р. Яйвы. — Н. Г.) стоят многие острые каменные пирамиды и прочее фигуры, на которой лежит камень подобием, якобы лев. А камень известной (известковый. — Н. Г.), самородной, и, знатно, от дождевой воды, снегу и морозов в такую фигуру соделался» (Геннин, 1937, стр. 556). По поводу этого описания и всего изложенного выше мы отмечали (Гвоздецкий, 1954, стр. 13), что в 20-х и 30-х годах XVIII в. не только подробно и точно были охарактеризованы карстовые формы Урала и Предуралья, но правильно было указано на роль деятельности подземных вод в их возникновении (В. Н. Таттщев), а для некоторых поверхностных форм — дождевых вод, снега и морозного выветривания (В. И. Геннин).

В 1733 г. в Петербургской Академии наук снаряжалась большая группа участников Великой Северной (второй Камчатской) экспедиции (1733—1744 гг.). Она была снабжена подробными инструкциями, составляющими теперь целый том в Архиве АН СССР. Инструкция по «истории натуральной» (Архив АН СССР, ф. 3, оп. 1, № 231, л. 15—19) состоит из 20 пунктов. 18-й пункт специально посвящен пещерам: «Ежели какие пещеры земные имеются, то оные исследовать надлежит и сколько возможно их внутренние части осматривать, не выходит ли из боков вода, не делает ли в ней камней, а буде делает, то какие и как, не находятся ли во оных пещерах источники и какую они воду имеют, соляную ли или серную. Также и каковы они вкусом, и не оставляют ли на дне какой-нибудь густой материи» (цитировано по Иванову, 1963, стр. 91). Составителем и фактическим исполнителем во время Великой Северной экспедиции этой

первой инструкции по изучению пещер был профессор химии и натуральной истории И. Г. Гмелин.

Первой пещерой, которую посетил И. Г. Гмелин, была Кунгурская. Он осмотрел ее со своими спутниками, тоже участниками «сибирской группы» (т. е. отряда, исследовавшего внутренние области Сибири), — профессором истории Г. Ф. Миллером, художником Беркханом и студентами. Они посетили пещеру 23 декабря 1733 г. и осматривали ее в продолжение четырех с половиной часов, «...довольно часто блудили, по временам ползали на четвереньках...». У сопровождавших их ямщика с сыном, посланных вперед на розыски дороги к выходу, погас светильник, и оба ощупью в темноте долго искали выхода. Выбрались они гораздо позже участников экспедиции, которые вышли из пещеры самостоятельно, и лишь на следующий день вернулись в Кунгур. Гмелин отметил, что пещера «состоит из известняка и является произведением природы», т. е. имеет естественное происхождение (Gmelin, 1751—1752, I, S. 106—108). В отдельно сделанном Гмелиным описании Кунгурской пещеры неоднократно говорится, однако, что гора, в которой находится пещера, состоит из гипса. Копия этого описания, найденная в архиве Г. Ф. Миллера (ЦГАДА в Москве, ф. 199, портфель 430, ед. хр. 20, л. 2—5), состоит из восьми рукописных страниц латинского текста. К ней приложены план пещеры и рисунок внешнего вида Ледяной горы, выполненные художником Беркханом и скопированные художником-чертежником Люрсениусом, который вопреки данным Е. Н. Косвинцева (1928) не участвовал в осмотре пещеры (полный русский перевод латинского текста описания и приложенные к нему рисунок воспроизведены в статье А. Н. Иванова, 1958а).

В указании описании Кунгурской ледяной пещеры И. Г. Гмелин говорит о способе составления плана пещеры. Расстояния Гмелин отмерял шагами, которые потом перевел в сажени, отклонения ходов пещеры в разные стороны он отмечал по магнитной стрелке, «художник же изобразил карандашом внутреннее устройство отдельных мест». Судя по количеству гротов на плане (Е. Н. Косвинцев считает, что их там одиннадцать), во время посещения Кунгурской пещеры Гмелиным была известна почти вся та часть подземного лабиринта, которую и теперь показывают посетителям. Гмелин отметил обилие ледяных образований в пещере, в том числе

имеющих вид «цветоносных веток», и привел данные о температурах в пещере и вне ее, после чего заключил, что «в пещере существовал больший градус холода, чем на открытом воздухе» (Иванов, 1958а, стр. 191—192).

Город Кунгур лежаа на пути участников экспедиции в Екатеринбург (ныне Свердловск) и далее в Сибирь, в Тобольск. Во время путешествия по Сибири И. Г. Гмелин посетил и описал ряд пещер, что, между прочим, нашло отражение в сводке по истории геологического исследования Сибири В. А. Обручова (1931).

Зимой 1735 г. И. Г. Гмелин специально выехал из Красноярска для осмотра пещер на правом берегу Енисея. Сперва в район пещер был направлен студент С. Крашенинников (будущий автор знаменитого сочинения «Описание земли Камчатки») с группой в 30 человек, чтобы подготовить путь к пещерам и установить лестницы. Затем выехал Гмелин с художником Люрсениусом и геодезистом Ивановым. Следуя левым берегом Енисея, вверх по реке, они прибыли в дер. Овсянку, напротив которой, в откосе правого берега, осмотрели первую пещеру. Это оказался неглубокий (семь сажен в длину), хорошо освещаемый через входное отверстие ход с ровным дном, мало заинтересовавший исследователя. В нем «нет ни снега, ни льда, ни воды. Ничего — кроме камня, из которого состоит вся гора и который полого падает на север». И. Г. Гмелин пишет, что его «нельзя назвать подземной пещерой, так как это — только маленькое углубление горы» (Gmelin, 1751—1752, I, S. 375; Иванов, 1958 а, стр. 187). Позднее (1740 г.) Гмелину удалось осмотреть другую пещеру по соседству с этой, в 150 м выше по реке. Она значительно шире первой, но тоже лишена капельников: «Как будто в горе нехватило материи, чтобы заполнить эту дыру, как и все пещеры, которые я встречал во время путешествия по Мане» — записал путешественник, спустившийся сюда, к Енисею, по р. Мане (Gmelin, 1751—1752, III, S. 509—510; Иванов, там же).

В 1735 г. после осмотра первой пещеры из дер. Овсянки И. Г. Гмелин поехал вверх по Енисею к дер. Бирюзинской, неподалеку от которой на правом берегу Енисея находятся «нижняя» и «верхняя» пещеры. При помощи установленных С. Крашенинниковым шести лестниц и вырытых между ними ступеней в снегу Гмелин со спутниками поднялся на 50 саженей к устью

«верхней» пещеры, которая оказалась выработанной в известняке, была просторной и круто шла в гору. Свод пещеры одевал лед, «напоминавший кристаллическую селитру. Он играл при горящих факелах, как драгоценные камни. Повсюду свисали со стен очень длинные и чистые ледяные сосульки». По-видимому, это та самая пещера, которую в 1722 г. посетил Ф. И. Страленберг. Из этой пещеры с трудом, через боковые ответвления, с помощью лестниц, проникли в «нижнюю пещеру». «Камень, в котором пещера находится, — известняк. Там и здесь видны наросты в виде каменной губки...» (Gmelin, 1751—1752, I, S. 376—378; Иванов, там же).

В 1739 г. И. Г. Гмелин по дороге на Базинский рудник осмотрел пещеру в высокой горе с тремя устьями и с чужих слов записал сведения о пещере на ручье Кора, впадающем в Абакан. В августе следующего 1740 года он описал пещеру на левом берегу р. Маны, близ устья ручья Кешдзюл. Однако карстовое происхождение этой пещеры сомнительно, поскольку пещера выработана, по Гмелину, не в известняке, а в темном «диком камне» с блестками «шпата» и тонкими кварцевыми жилками (Gmelin, 1751—1752, III, S. 287—289, 498—499; Иванов, 1958а, стр. 188).

Нужно отметить, как это сделал и А. Н. Иванов (1958а), обстоятельность описаний пещер, выполненных И. Г. Гмелиным, который в дневнике всегда указывал местоположение пещеры, ее размеры, горную породу, в которой выработана пещера, натечные и ледяные образования, найденные в пещере предметы и пр. Описания Гмелина не уступают по содержательности описаниям, сделанным во второй половине XVIII в., только некоторые из них менее подробны.

М. В. Ломоносов и вопросы карстоведения¹

О проявлениях и сущности карстового процесса М. В. Ломоносов говорит главным образом в двух сочинениях: «О слоях земных», впервые изданном в 1763 г., и в «Слове о рождении металлов от трясения земли», написанном в 1757 г. (Ломоносов, 1949, 1950).

¹ Текст этого раздела взят из одноименной статьи, опубликованной нами в сборнике «Землеведение» (нов. сер., т. 6 (46), 1963). Воспроизводится здесь с небольшими редакционными изменениями.

С карстовым процессом (с выщелачиванием соли) связаны упоминаемые М. В. Ломоносовым провалы в районе соляных залежей Перуанского королевства, где случается, «что проезжие с лошадьми и со всем проваливаются безвестно» (Ломоносов, 1949, стр. 28, § 33).

В главе II того же сочинения М. В. Ломоносов описывает натечные образования и капельники (сталактиты и сталагмиты), возникающие в рудниках и естественных пещерах. «Капль верхняя подобна со всем ледяным сосулькам. Висит на сводах штольны натуральных. Сквозь сосульки, коих иногда много разной длины и толщины вместе срослись, проходить сверху вертикальные скважины разной ширины, из коих горная вода каплет, долготу их наращает и производит капль нижнюю, которая растет от падающих каплей из верхних сосуллек...» (там же, стр. 43, § 69). В «Минеральном каталоге» М. В. Ломоносов привел описание коллекции сталактитов (Ломоносов, 1950, т. V, стр. 210—211; Гордеев, 1960).

В «Слове о рождении металлов от трясения земли» М. В. Ломоносов говорит о ледяной Безансонской пещере (Франция) (1949, стр. 171—172). Ему принадлежит также интересная работа «О вольном движении воздуха, в рудниках примеченном», которая может служить основой для понимания термического режима пещер и возникновения пещерного холода и льда (Ломоносов, 1950, т. I, стр. 315—331; Ступишин, 1955, 1963). Перечисляя различные формы рельефа, не забывает М. В. Ломоносов и о пещерах (1950, т. V, стр. 545; Дик, 1961).

Особенно большой интерес представляют содержащиеся в «Слове о рождении металлов...» следующие высказывания М. В. Ломоносова о сущности карстового процесса: «...дождевая вода, когда горы пронизает, тончайшие земляные частицы, из которых камни сседаются, в себе разводит, и от тех силу получает другие тела преврять в камень, оставя в их скважинах оные частицы, которые прежде из каменной горы взяла с собою. Доказывают сие многие пещеры и рудокопные ямы, в которых капающая вода оставляет нарослой камень по стенам и по сводам». И далее: «Между тем дождевая вода сквозь внутренности горы процеживается, и распущенные в ней минералы несет с собою, и в оные расселины выжиманием или капаньем вступает; каменную материю в них оставляет таким количеством, что в несколько времени наполняет все оные полости» (Ломоносов, 1949, стр. 180—

181). Во второй цитате имеется в виду заполнение натеками и капельниками тектонических расселин, возникших «от умеренного трясения». Мы знаем много случаев, в частности на Кавказе, где первичные полости пещер образованы тектоническими трещинами, которые моделированы и инкрустированы натеочно-капельными карстовыми образованиями (Псекупсская пещера, пещера в травертинах Горячей горы Пятигорска, где трещины действительно возникли в результате землетрясения, и др.).

Таким образом, М. В. Ломоносов писал в своих работах о происхождении натечных пещерных образований («нарослого камня по стенам и по сводам»), капельников типа сталактитов и сталагмитов. Он совершенно правильно объяснил возникновение этих образований за счет действия просачивающейся в пещеры и капающей со сводов воды, оставляющей частицы, «которые прежде из каменной горы взяла с собою», производя выщелачивание горных пород.

В высказываниях М. В. Ломоносова о карстовом литогенезе отражен присущий ему взгляд на природу как на развивающуюся материальную систему.

М. В. Ломоносов показал тесную взаимосвязь между процессами выщелачивания горных пород и карстового литогенеза. Это важнейшие стороны карстового процесса, охватывающего выщелачивание и размыв (т. е. разрушение) растворимых горных пород, транспортировку полученных водой частиц и карстовый литогенез. Такая трактовка карстового процесса и должна получить развитие в советском карстоведении. Во введении нами отмечено, что считать карстом лишь процесс разрушения горной породы, как это предложил Д. С. Солов, неправомерно.

Исследования карстовых явлений во второй половине XVIII в.

К началу второй половины XVIII в. относятся, как мы видели, сочинения М. В. Ломоносова, содержащие важные высказывания о явлениях, которые теперь определяются как карстовые. Остальные исследования рассматриваемого периода непосредственно соприкасаются с ломоносовской эпохой.

Современник Ломоносова П. И. Рычков в 1760 г. опубликовал сочинение, посвященное карстовой пещере: «Описание пещеры, находящейся в Оренбургской губернии при реке Белой, которая из всех пещер, в Башкирии находящихся, за славную и наибольшую почитается». Описание этой крупной пещеры Предуралья, которая носит название Каповой, П. И. Рычков дал довольно точно, что было отмечено членами Оренбургского отдела Русского географического общества, осмотревшими пещеру в 1896 г. и сопоставившими свои наблюдения с описанием Рычкова (Мильков, 1953а). Однако, не отрицая естественного происхождения пещер вообще, в том числе и части этой пещеры, П. И. Рычков высказал ошибочное мнение о том, что данная пещера «ежели не вся, то по большей части, руками человеческими строена». Он писал о том, что пещеры образуются «от подземного огня и от протоков подземных вод» (Рычков, 1760, стр. 219), человек же увеличил размеры описанной им пещеры и изменил ее первоначальный вид. П. И. Рычков указал на провальные ямы (воронки) вблизи обследованной им пещеры до 12 сажен глубиной.

В широко известной работе «Топография Оренбургской губернии» (1762) П. И. Рычков в особом разделе «Пещеры» говорит о некоторых пещерах Южного Урала в Уфимской и Исетской провинциях: на склонах долины р. Белой—в окрестностях Уфы, по притокам Белой—в долинах Сима и Эрезени (Юрезани) и на Зауральской равнине. Упоминает он и о пещере с подземным озером в горах Баян-Ула (Казахский мелкосопочник) («Оренбургские степи...», 1949; Мильков, 1953а; Ступишин, 1955).

Многочисленные описания пещер и других карстовых явлений имеются в отчетах участников академических экспедиций 1768—1774 гг.: И. И. Лепехина, Н. П. Рычкова, П. С. Палласа, И. П. Фалька, И. А. Гюльденштедта и др.

Руководивший одним из отрядов академических экспедиций И. И. Лепехин обследовал и описал карстовые явления Поволжья, Предуралья и Урала. Он обратил внимание на провальные карстовые озера в бассейне Оки, в бассейне р. Пьяны описал периодически исчезающее оз. Возьянское, воды которого поглощаются понором и через «подземные рвы» сообщаются с мощными источниками («три большие войманы»), дающими начало

р. Ват (Вад), впадающей в Пьяну. На Самарской Луке И. И. Лепехин отметил пещеры возле с. Печерского, указав, что от них происходит название этого села (сами пещеры не привлекли особого внимания исследователя: «оне все были невелики и неправильны»), а также карстовую долину Сухая Брусяна, получившую название из-за отсутствия в русле воды (Лепехин, 1771; Ступинин, 1955, 1967).

В 1770 г. экспедиционный отряд И. И. Лепехина производил исследования в Предуралье и на Урале. Во время зимовки в Табынске на р. Белой И. И. Лепехин посетил некоторые пещеры, в том числе Курманаевскую пещеру на р. Аургазе приблизительно в 50 км от Табынска. Весной 1770 г., путешествуя по Южному Уралу, он описал подземную речку Астындан-Жилга у горы Жилань-Тау («Змеинная гора»), осмотрел пещеры в горах Муйнак-Таи и Байслан-Таи на правом берегу р. Белой, а 27 мая посетил Капову пещеру, описанную П. И. Рычковым, где открыл много новых залов и проходов. И. И. Лепехин описал натечные образования и капельники, встречающиеся в отдельных местах этой пещеры. Около столба, состоящего из «накипи», «...небольшие стояли столбики, на которых утверждены были стоячия, на подобие великих свеч, накипи. Из вертепного свода... висели разнovidные капи: иные представляли большие сосули, другие были тонки...; иные над столбом стройной работы представляли балдахин» (Лепехин, 1802, стр. 86—87). Лепехин не согласился с утверждением П. И. Рычкова, будто пещера «сделана человеческими руками». Это «дело невозможное, да и ненужное, — пишет Лепехин. — Есть ли мы посмотрим пристально на отделения пещеры, то удобно понять можно, что сия великую в горе пустоту единственно произвела вода» (там же, стр. 88).

Летом того же года И. И. Лепехин посетил Кунгурскую ледяную пещеру, подробно описал ее и обратил внимание на конусовидные провалы вершины Ледяной горы, в недрах которой находится пещера: «...везде видели великие в гору провалины наподобие обороченного конуса глубиною сажень на десять» (там же, стр. 226). Относительно самой пещеры И. И. Лепехин пришел к заключению, что она «водному элементу начало свое долженствует» (там же, стр. 234). Далее, напоминая о своих наблюдениях близ Табынска, Лепехин продол-

жает: «...не редко пещеры происходят от самого малого начала, например, от небольшой на горе впадины, в которой весенняя вода засев, год от году далее в горные проницая недра, делает пустоты, и на конец самая пещера производит» (Лепехин, там же).

Таким образом, И. И. Лепехин вслед за В. Н. Татищевым не только ясно представлял себе, что карстовые пещеры — результат деятельности воды, но понимал и значение медленно действующих геологических процессов в эволюции карстовых форм, что нами уже было отмечено (*Гвоздецкий, 1954*). В другом месте своего отчета о путешествии И. И. Лепехин еще подробнее пишет о «водном начале» пещер, говоря о действии «источников подземных вод». Следы породившей пещеру деятельности воды он считает «капи» и «накипи», «которые иначе произойти не могут, как от разведенной (т. е. растворенной. — *Н. Г.*) материи в водном элементе» (Лепехин, 1802, стр. 12).

Отмечая приуроченность пещер к определенным (растворимым в воде) горным породам, И. И. Лепехин считал, что в этих породах должны быть первичные пустоты, «ибо естли бы одна вода без всякой предшедшей пустоты рождала пещеры, то бы во всех алебастровых и известных (известняковых. — *Н. Г.*) горах пещерам быть надлежало» (там же, стр. 13). И. И. Лепехин не имел ясного и верного представления о происхождении первичных пустот (мы знаем теперь, что это различного рода трещины и поры), но его вывод о том, что для растворяющей деятельности воды внутри горной породы необходимы первичные пустоты, очень важен.

И. И. Лепехин видел взаимную связь между ямами на земной поверхности и пещерами и в отличие от В. Н. Татищева рассматривал поверхностные карстовые формы не только как провалы над подземными пустотами, а указывал на совокупное воздействие поверхностных и подземных вод. «Собравшаяся в недрах горы вода, время от времени разводя (растворяя. — *Н. Г.*) каменный состав, открывала себе путь далее; а вешняя вода, застоившаяся в неровностях на поверхности горы, подобным же образом разводя каменное вещество, делала глубокие ямы и борозды, и на конец, добравшись до ущельев (т. е. трещин, щелей. — *Н. Г.*), через оныя проходила до внутренней пустоты, прибавляла силы содержащейся воде в горных недрах, которая усилися, и разорвав все пре-

поны, открыла себе путь каким ни будь отверстием; и ежегодно повторяя отверстием путь, во все стороны размывала пещеру.

Что застоявшаяся вода в неровностях горной поверхности до внутренней пустоты добраться может, доказывают... отдушины, которые иначе сделаться не могли, как через проникание в камень» (там же). Здесь И. И. Лепехин в принципе правильно осветил важнейшие проблемы карстоведения и решил при этом такие вопросы, которые вызывали дебаты у западноевропейских исследователей еще в конце XIX в. По этому поводу уже отмечалось, что он «более чем на столетие опередил западноевропейских исследователей» (Гвоздецкий, 1954, стр. 18).

Состоявший в отряде П. С. Палласа Н. П. Рычков (сын П. И. Рычкова, об исследовании и сочинениях которого говорилось выше) совершил несколько самостоятельных маршрутов по Заволжью и Предуралью в 1769—1770 гг. В отчете о путешествии (Рычков, 1770, 1772) он описал карстовые пещеры на берегах рек Ика и Колвы, приложив к первому описанию план пещеры и ее местоположения. В пещере на правом берегу Ика, которую Н. П. Рычков исследовал в жаркий июньский день (25 июня 1769 г.), было холодно и находился лед. Между прочим, из-за невнимательности к трудам первоисследователей эта ледяная пещера была вторично «открыта» в 1949 г. (Милюков, 1953б; Ступишин, 1955).

Н. П. Рычков в отличие от П. И. Рычкова считал, что крупные карстовые пещеры являются естественными образованиями: «Нельзя думать, чтобы сии пещеры могли быть сделаны руками человеческими...» «Изыскивая причины, от чегоб могли быть сделаны сии чудныя подземныя здания, принужден я был больше соглашаться, что творительницею оных есть никто иной, как вода, которой течение сокрыто в недрах сея земли». И далее: «...по моему кажется справедливее, приписать сотворение пещер воде внутри земли текущей, нежели людям, которые столь мало ими пользоваться могли» (Рычков, 1770, стр. 98—99).

Н. П. Рычков обратил также внимание на провальные карстовые воронки, разбросанные на возвышенном пространстве шириною в 6 км к востоку от Икской пещеры. «Во круг оныя пещеры находится множество круглых и столь глубоких ям, как первая, в которой было отверстие

ведущее во внутренность подземных хранилищ... ..расстояние ямами наполненного места... более шести верст по пути к восточной стороне... Все сии великия ямы состоят из слоев гипсового камня и во глубине оных видимо несколько узких отверстий, которыя ни что иное, как знаки их всеобщего между собою соединения». «Глубокия ямы, видимыя во круг сея пещеры... без сумнения имеют свое происхождение от силы под землею стремящейся воды, коя прорвав местами мягкую землю, сделала сии глубокия пропасти» (там же).

В отличие от В. Н. Татищева, М. В. Ломоносова и И. И. Лепехина, Н. П. Рычков не говорит здесь о растворяющей («разводящей») деятельности воды. Из приведенного выше текста можно понять, что он подразумевает механическую силу подземных потоков, прорывавшую «местами мягкую землю». Но связь провальных карстовых образований на дневной поверхности с подземными ходами и полостями показана Н. П. Рычковым весьма отчетливо. Он ясно представлял себе и значение силы тяжести. В описании Икской пещеры он отмечает, что потолок пещеры из-за обрушения гипсовых слоев приобрел вид «непорядочно построенного свода... ..будучи чрезвычайно слаб, не в силах на себе держать ужасную тяжесть земли, и обрушась делал непорядок в оном чудном строении натуры» (там же, стр. 96).

А в крупной карстовой пещере, открытой на западном берегу р. Колвы, Н. П. Рычков обратил внимание на обрушения («Огромные глыбы камней свалившихся с верху лежат повержены по среди ея...») и верно объяснил природу натечно-капельных образований в форме столбов или свисающих сверху свеч: «Ипде слились они на подобие искусством сделанного столба, инде висят на верху храмины, как свечи из белаго воска...» О другом зале пещеры: «...капли, исходящая из поверхности ея стен, превращаются в прозрачныя сталактиты, которые сливаясь в большие круги делают совершенной вид лесных сморчков, сросшихся один с другим так крепко, что едва можно отшибить их железным орудием» (Рычков, 1772, стр. 119—120.)

А. В. Ступишин (1955) отмечает, что Н. П. Рычков дал некоторые наметки к классификации пещер по литологическому и температурному признакам, различая известняковые и гипсовые (алебастровые) пещеры, а также теплые и холодные. Высказывания Н. П. Рыčkова о

тесной связи между теми и другими пещерами и причинах связи, а также о приуроченности известняковых пещер к горным местностям, а гипсовых — к равнинным не состоятельны и могут быть расценены как малооправданная экстраполяция наблюдаемых в конкретной местности фактов.

Небольшой материал о карсте Предуралья оставил начальник Оренбургской экспедиции (третьего, Оренбургского отряда академических экспедиций) И. П. Фальк. По мнению А. В. Ступишина (1955, стр. 77), Фальк «не был любителем подземного карста. Судя по его дневнику, этот исследователь лично не посетил ни одной пещеры», однако в другом источнике мы читаем: «В Кунгурской пещере побывал в 1772 году И. П. Фальк» (Максимович и Горбунова, 1958, стр. 101). И действительно, сам Фальк пишет, что он «выходил» по пещере «вокруг две версты» и нашел, что «она завалена и ходить по ней опасно». «Подошва» пещеры, по мнению Фалька, «кажется быть в уровень с поверхностью речной воды» (Фальк, 1824, стр. 275—276). Он упомянул также о пещерах Башкирии на р. Белой: «...вверх по Белой имеются большие пещеры и разселины» (там же, стр. 302; Ступишин, 1955).

Очень кратко говорит И. П. Фальк о поверхностных карстовых формах в районе г. Кунгура — «многих провалах», возникших на берегу р. Сылвы. На правом берегу р. Ирени, в 3 км выше Кунгура, у деревни Меховой, находится, по его данным, самый большой провал. Он «сначала был глубиною в 25 сажен и в котловине своей имел воду. Другой провал, называемый *Каменной Коч* и находящийся на близъ лежащей высоте, глубиною в 15 сажен. Оба показывают внутри глинистые, мергельные и известнокаменные пласты» (Фальк, 1824, стр. 276). Провалы по берегам рек Сылвы, Ирени, Иргины и Чусовой отметил в 1773 г. И. Г. Георги (Максимович и Горбунова, 1958).

Одним из отрядов академических экспедиций — «астраханским отрядом» — руководил И. А. Гюльденштедт. Путешествуя по Кавказу, он дал первое описание известного Провала на горе Машук у Пятигорска (Güldenstädt, 1791). В другом своем сочинении (Güldenstädt, 1815) он пишет об исчезновении р. Херги (Шаоры) в Шаорской котловине на южном склоне Большого Кавказа и описывает место выхода подземного потока,

который образует р. Шараулу. На юго-запад от места исчезновения р. Херги находится очень глубокое карстовое озеро, также отмеченное Гюльденшtedтом.

Особенно много карстовых явлений описано в разных районах нашей страны П. С. Палласом, который, как и указанные выше исследователи, участвовал в академических экспедициях 1768—1774 гг., но проводил исследования и позднее, потому мы и говорим о нем в последнюю очередь.

Некоторые исследования карстовых явлений П. С. Паллас выполнил в Среднем Поволжье (Паллас, 1809, 1786а, б, 1788; Ступишин, 1955, 1967). На Ковровском плато по правобережью р. Нерехты у дер. Федотьевой П. С. Паллас ознакомился с известковым карьером, где обратил внимание на пустоты в известняке, заполненные рыхлыми образованиями. Это наблюдение Палласа летом 1768 г. А. В. Ступишин (1955, 1956а) считает первым сообщением в отечественной литературе о погребенном, или ископаемом, карсте, а материал, которым заполнены карстовые полости, он считает, по описанию Палласа, четвертичной мореной. На Оке в г. Касимове Паллас видел сталактиты в погребке бывшего ханского дворца с известняковыми сводом и стенами; на правом берегу Оки, в районе устья р. Кутры, он обратил внимание на пещеры в гипсах и заполненные водой глубокие ямы, вероятно карстовые воронки.

На Приволжской возвышенности, в бассейне р. Пьяны, в районе речки Вад, П. С. Паллас отметил провалы, «произшедшие от подземной воды», которая «вымывает» горную породу. Он рассказывает о случае в дер. Каваре на западной стороне Лопатиной, где часто бывают провалы. «Однажды... целой крестьянской дом со всею семьею провалился, и можно еще видеть оную пропасть. Недалеко от Лопатиной, — продолжает Паллас, — недавно сделался такой провал, в котором видно было течение подземной воды; может быть некоторые ключи, или озера, в сей стране находящиеся, имеют подземное течение. Известно, что в здешнем Мордовском озере находится великое множество рыбы, которая увидев закинутую сеть, почти вся уходит в омут, глубину которого мы не могли измерить» (1809, стр. 81).

На р. Теше у с. Гремячево П. С. Паллас обнаружил мощный карстовый источник, на энергии которого как во времена Палласа, так и в наше время (в начале 50-х го-

дов XX в.) работала Гремячевская мельница (Ступишин, 1955), вероятно, работает и поныне.

П. С. Паллас был первым, кто описал известную в Поволжье Борнуковскую пещеру. В этой пещере в 1768 г. он произвел температурные наблюдения. А. В. Ступишин (1955, 1956) считает их первыми температурными наблюдениями в пещерах России, но мы видели, что И. Г. Гмелин измерял температуру в Кунгурской пещере на 35 лет раньше.

В районе Самарской Луки Палласом отмечены пещеры и карстовые источники, в том числе соляные, у г. Куйбышева (тогда Самара) — провалы в гипсах, на р. Самаре, у Алексеевска, на вершине гипсового холма, «глубокая котлу подобная яма, которая никогда не высыхает», — это оз. Ладанское, а в бассейне р. Ика, притока Камы, — исчезающие реки и ручей.

В Предуралье П. С. Паллас посетил Кунгурскую ледяную пещеру и исследовал семь пещер Башкирии (их описание воспроизведено у Ступишина — 1955, прилож. 10—16), охарактеризовал карстовую р. Сим, которая скрывается в бездну под известняковым утесом, а через полкилометра снова появляется на поверхность в виде четырех мощных источников. Во время весеннего половодья подземный канал р. Сим не вмещает всего водного потока, и река течет по обходному руслу (Паллас, 1786а, стр. 51—52).

П. С. Паллас указал на тяжелые для строительства геологические условия в г. Уфе и на провалы на территории города: «...весенняя вода прорывает глубокия протоки, а не редко делает и провалы». Он описал карстовые воронки в урочище Шор-Булак у подножия горы Б. Богдо на южном берегу оз. Баскунчак (Паллас, 1786а, стр. 11; 1788, стр. 319). Посетив еще раз оз. Баскунчак во время экспедиции 1793—1794 гг., он описал провальные карстовые воронки к северо-западу от озера (Pallas, 1799, стр. 170). Во время того же путешествия он посетил и Северный Кавказ в районе Кисловодска и Пятигорска, где следом за И. А. Гюльденштедтом исследовал Провал на горе Машук. Возникновение Провала П. С. Паллас объяснил обрушением «цилиндрической массы известковой скалы, толщиною до 20 туазов», упомянув при этом, со слов местных жителей, о землетрясении, которое «разверзло бездну Машука лет 20 назад» (там же, стр. 343—344).

Большой интерес представляет исследование ученым карстовых явлений на Алтае. Северо-Западный Алтай он посетил, руководя отрядом академических экспедиций. В районе Тигерека осмотрел в горах ямы, описал пещеру, указал на видимые отверстия входов в другие пещеры и осмотрел источник, который «под каменистым... берегом с чрезвычайным стремлением к речке кипит, ибо кажется, что она есть исток маленькой речки, которая за несколько сот сажен в горах отлежащих от оной под камень в расщелину уходит, и бежит сквозь гору». Он описал также пещеру в известняковой горе на правом берегу р. Чарыша (Паллас, 17866, стр. 285—289, 305).

По свидетельству Г. П. Вологодского, Петербургская Академия наук в 1789 г. получила сообщение о Балаганской пещере на р. Ангаре от Э. Лаксмана.

Таким образом, во второй половине XVIII в. были описаны карстовые явления в многочисленных районах нашей страны, в том числе в отдаленных областях Кавказа и Сибири. Многие исследователи того времени высказали правильные и важные положения о происхождении пещер и других карстовых форм. В прежней монографии о карсте (*Гвоздецкий, 1954*) нами приведены некоторые курьезные высказывания о происхождении карстовых форм, взятые из западноевропейской литературы конца XVIII и XIX столетий. Сопоставление с ними материала по истории отечественного карстоведения наглядно показало, «насколько русская научная мысль опередила... представления западноевропейских исследователей» (см. там же, стр. 19).

Исследования карстовых явлений в начале и в середине XIX в.

Этот период тесно связан с предыдущим, и в начале его многие ученые основывались на данных и выводах предыдущего столетия. Для примера можно указать на речь И. А. Двигубского «О нынешнем состоянии земной поверхности» (1806 г.), в которой подробно рассматривается геологическая деятельность воды. Говоря об известняковых горах, Двигубский указывал, что «во внутренностях сих гор находятся пространные и расположением своим очень удивительные пещеры, измытые водою, которая растворенные в ней части опять опускает в виде

накипей по стенам и в виде огромных сталактитов и сталагмитов» (цитировано по Иванову, 1958 б, стр. 89).

Крупнейшим ученым начала XIX в., труды которого содержат важный материал о карсте, является В. М. Севергин. В его труде «Подробный словарь минералогический...» (1807) содержатся данные о растворимости гипса и известняка, указывается на образование провалов и пещер в гипсах. Много сведений о карсте имеется и в более ранней работе Севергина «Начальные основания естественной истории...», опубликованной в 1798 г. (см. Ступишин, 1955). Большой интерес представляет сочинение В. М. Севергина «Опыт минералогического землеописания Российского государства» (1809), первая часть которого содержит особые разделы, посвященные описанию пещер, карстовых колодцев и провалов Крыма, Предуралья, Урала, а также Алтая и других гор Сибири. О пещерах говорится и при характеристике некоторых рек, а об известковых капельниках — во второй части труда, где речь идет о горных породах и минералах (Гвоздецкий, 1954).

Сведения о карсте нашей страны имются в учебном руководстве Е. Ф. Зябловского «Землеописание Российской империи для всех состояний» (1810). В нем говорится о карстовых озерах в Поволжье, о пещерах Поволжья — Борнуковской, Антоновских, Сюкеевской, о ледяной пещере на р. Ик, описанной Н. П. Рычковым, по данным И. И. Лепехина и П. С. Палласа — о пещерах Башкирского Предуралья и Урала (Ступишин, 1955).

В «Словаре географическом Российского государства», составленном А. Щекотовым (1833), наряду с другими достопримечательностями говорится о «земляных провалах» и пещерах.

В описываемый период продолжалось накопление сведений о карстовых явлениях Предуралья и Урала, Русской равнины, Крыма, Кавказа и Сибири.

«Историко-географическое описание Пермской губернии» (1801) содержит материалы об исчезающей речке Вижай, Кунгурской пещере, пещере на р. Яйве и Дивьей пещере на р. Колве. В «Хозяйственном описании Пермской губернии» Н. Г. Попова (1804) специальные разделы посвящены пещерам и провалам, исчезающим речкам, карстовым источникам. Кунгурскую пещеру посетили профессора Казанского университета И. Ф. Эрдман (в 1816 г.) и М. Я. Киттары, который в 1848 г. опублико-

вал очерк об этой пещере (с планом) и ее ледяных образованиях (Максимович и Горбунова, 1958; Гвоздецкий, 1954). Сведения о карстовых формах Урала и отчасти Русской равнины содержатся в относящихся к 40-м и 50-м годам XIX в. геологических трудах Г. Щуровского, Р. Мурчисона, Меглецкого и Антипова (Зубашенко, 1948; Гвоздецкий, 1954).

Карстовые формы севера Русской равнины впервые обследовал А. Шренк, посетивший в 1837 г. бассейны рек Северной Двины, Кулоя и Мезени. В описании своего путешествия он обращает внимание на «безчисленные воронкообразные углубления, рассеянные по ровной поверхности земли» в бассейне р. Пинеги. Шренк указывает, что они «придают столь особенный вид гипсовым почвам, и происходят от земляных обрывов, ежегодно случающихся в почвах здешнего края... нам показывали в лесу две такие воронки, находившиеся в самом их образовании от бывших незадолго до того земляных обрывов» (Шренк, 1855, стр. 81). Слово «обрыв» следует в данном случае, очевидно, понимать как обвал, провал.

На обследованной территории А. Шренк отмечает также пещеры, детально описывает крупнейшую Медвежью (Кулогорскую) пещеру на пересеченном каналом суженном участке междуречья Пинеги и Кулоя. Один из больших залов этой пещеры носит теперь имя Шренка (Чижишев, 1965).

В долине верхнего течения Кулоя карстовые формы были отмечены в 1848 г. К. И. Гревингом: «Колесный путь от Пинеги до с. Кулойского протекает по пескам, из-под которых лишь изредка выступает гипс, образующий многочисленные воронкообразные провалы» (цитировано по Торсуеву, 1959, стр. 249).

В журнале «Новый магазин» за 1820 г. опубликована статья Ф. Г. Покровского «О Дедиловских провалищах в Тульской губернии», где деятельностью воды объясняется образование пещер и провалов в известняках (Иванов, 1958б). Исследование провалов к югу от Тулы выполнено Г. Абихом (Abich, 1854).

В 1821 г. П. Кеппен опубликовал материалы об одной из пещер Крыма. На Кавказе внимание путешественников и исследователей продолжал привлекать Провал на горе Машук у Пятигорска (Engelhardt u. Parrot, 1815, стр. 120). Провал этот исследовал Ф. Баталин (1857, 1861), спускавшийся на его дно через воронку. В

труде Г. Абиха (Abich, 1858, стр. 25 (385)) отмечены особенности карстового рельефа и гидрографии на Рачинском хребте и в горах, окружающих Окрибскую котловину (южный склон Большого Кавказа). Абих обратил внимание на присущую этому району линейную систему расселин и трещин.

В Восточной Сибири землемер А. П. Лосев (1815) описал несколько пещер (Балаганскую — на Ангаре, Удинскую, «Ноздреватую» и Ледяную — на р. Лене), упомянул о пещерах в долине р. Белой близ р. Ошота. В 40—50-х годах XIX в. Балаганская пещера с замечательными ледяными образованиями была описана Н. и С. Шукиными, Иркутяниным, а поручик Рашков произвел в ней наблюдения над температурой воздуха и исследовал карстовое оз. Провалище в низовье р. Осы.

В 1831 г. доктор Геблер опубликовал в «Бюллетене Московского общества испытателей природы» (*Bulletin de la Société Impériale des naturalistes de Moscou*, t. III, 1831, стр. 232—240) описание Чарышских пещер в Северо-Западном Алтае. Спутником Геблера был чиновник горного округа А. Кулибин, который поместил заметку об известковых пещерах на берегу р. Чарыша в «Горном журнале» (1831). В одной из пещер обнаружена глина с костями животных. Год спустя Чарышские пещеры посетил Гельмерсен (Helmersen, 1848, стр. 252). Кости, добытые в Чарышских и Ханхарских пещерах, позднее детально изучались Ф. Брандтом (Brandt, 1870).

Исследования в 60—70-х годах и в конце XIX в.

Это период бурного расцвета естествознания в России, сопутствовавшего быстрому развитию капитализма после реформы 1861 г. На общем фоне развернувшихся географических и геологических экспедиционных исследований продолжалось изучение карстовых явлений.

Развернулись геологические исследования Русской равнины и Урала. Они способствовали выявлению карстовых форм в разных районах, выяснению особенностей и закономерностей распространения карста. В некоторых окраинных районах Русской равнины карстовые явления были обнаружены и описаны при геологических изысканиях, проводившихся в связи с железнодорожным строи-

тельством. В частности, на севере Русской равнины Н. Н. Соболев (1899 а, б) открыл громадную карстовую область Онежско-Двинского водораздела, являющуюся, по мнению этого исследователя, одной из «самых обширнейших в мире». Соболев отметил ландшафтные отличия этой области от соседних незакарстованных территорий.

Изучению карста Русской равнины способствовали комплексные работы по оценке земель, проводившиеся на средства губернских земств. Важные результаты дали исследования 1882—1886 гг. в Нижегородской губернии, которыми руководил В. В. Докучаев¹. П. А. Тутковский охарактеризовал своеобразные карстовые озера на юге Полесья.

В Предуралье геологические исследования в начале рассматриваемого периода проводились Обществом естествоиспытателей при Казанском университете, а с 1882 г. — Геологическим комитетом. В работах геологов П. И. Кротова, Ф. Н. Чернышева, Д. Л. Иванова приводятся сведения о карстовых формах, причем изыскания двух последних исследователей, как и Н. Н. Соболева на севере Русской равнины, были связаны с железнодорожным строительством. Данные по карсту Предуралья содержатся и в географических работах Х. Мозеля, Н. Чупина и др. (Максимович и Горбунова, 1958).

В конце прошлого века Н. Головкинский, В. Дмитриев, Ю. Листов и др. изучили карстовые источники и пещеры Горного Крыма. За описываемый период появляется много работ, содержащих краткие сведения о карстовых формах многих районов Кавказа (Гвоздецкий, 1954).

Н. М. Альбов выразительно описал карстовые ландшафты плато Фишт-Оштен-Лагонаки, известняковых хребтов и массивов южного склона Большого Кавказа — горы Ахача, Гагрского и Бзыбского хребтов, известняковых гор Мегрелии. О ледяной пещере Сакинули в Шаорской котловине сообщают Г. И. Радде, Н. Сахаров. Характеристика различных форм карста в Шаорской котловине дана И. И. Пантюховым, которым отмечены также карстовые формы в верховьях р. Абаши в Мегре-

¹ Библиографию см. в нашей предыдущей монографии (Гвоздецкий, 1954). В списке литературы к данному и последующему разделам I главы настоящей монографии приведены лишь важнейшие работы и те источники, которые не названы в предыдущей монографии.

лин. В отчете геолога Г. И. Сорокина сообщается об исчезающих реках Тквибули (Ткибули) — Дзирула и Черула.

Карстовые формы многих районов Сибири привлекали внимание таких выдающихся путешественников и исследователей как А. Ф. Миддендорф, П. А. Кропоткин, А. Л. Чекановский, И. Д. Черский.

А. Ф. Миддендорф (1860—1861) описал карстовые явления в известняках южного склона Алданского хребта, отметив исчезающие под землей реки и горные ручьи, крупные водопоглощающие воронки и фонтанирующие источники. В восточной части бассейна Алдана, на р. Мае, Я. В. Стефанович описал ледяную пещеру Абыгы-Джинэ — «жилище чёрта».

Кадилинские пещеры на западном побережье Байкала посетил в 1865 г. П. А. Кропоткин (1866). Позднее их же обследовал И. Д. Черский (1880). Черский (1874, 1876а, 1879) подробно исследовал, описал и заснял на план Нижнеудинскую пещеру. Он же (Черский, 1876 б, 1891) и А. Л. Чекановский (1871, 1874) осмотрели Балаганскую пещеру в Приангарье. И. Д. Черский (1888) отметил также провалы в известняках и гипсах «в южных окрестностях г. Балаганска». Сведения о карстовых явлениях в Приангарье имеются также в отчете К. И. Богдановича (1896).

Н. С. Боголюбским (1883) описаны пещеры Минусинской котловины, а Н. М. Ядринцевым (1880) — пещеры Горного Алтая в долинах рек Катунь и Ануя.

Работы рассматриваемого периода не только полнее, чем в предыдущие периоды, показывают распространение карстовых форм на территории России, но в ряде случаев и указывают на ландшафтные особенности территорий, поверхность которых образована карстующимися горными породами (работы Н. Н. Соболева, Н. М. Альбова и др.). Особенно большой интерес представляют опубликованные в 1892 и 1894 гг. статьи А. И. Воейкова, который на примере главным образом карстовых областей Юго-Восточной Европы, отчасти и Америки (Юкатан) показал громадное воздействие человеческой деятельности на развитие карста, различную степень этого воздействия в зависимости от особенностей климата, отметил специфику условий жизни человека в карстовых местностях.

Закарстованную поверхность А. И. Воейков называл

славянским словом «краж», но употреблял и термин «карст», происшедший от австрийского названия известнякового плато Крас в Словении (Югославия) и ставший международным термином. Считают (Зубащенко, 1948; «Карстование», 1948; Максимович и Горбунова, 1958), что термины «карст», «карстовое явление» впервые в отечественной литературе применил Е. С. Федоров (1883). Позднее о карстовых явлениях писал И. В. Мушкетов (1888). К концу рассматриваемого периода термин «карст» уже укоренился в русской литературе (см. Ануцин, 1895).

Исследования карста в предреволюционный период

Обобщающая статья А. А. Крубера «О карстовых явлениях в России» (1900) завершает предыдущие этапы исследований карста и знаменует начало нового периода. Эта сводка охватывала преимущественно Европейскую Россию и не была исчерпывающей. В ней помимо обзора литературных источников А. А. Крубер поместил материал собственных наблюдений над провальными воронками и озерами к югу от Тулы.

После опубликования сводки А. А. Крубера сведения о распространении карста в разных областях нашей страны быстро расширяются. Как и в предыдущий период, этому способствовали геологические изыскания при строительстве железнодорожных путей, которое вызывалось усиленным освоением окраин Европейской России и заселением Азиатской России (работы А. Михальского и П. Тутковского на Полесских железных дорогах, А. А. Чернова и М. С. Швецова на линии Казань — Екатеринбург¹, А. А. Штукенберга на линии Пермь — Екатеринбург у г. Кунгура и др.). В работах П. Тутковского (1911, 1912) о карсте Волыни впервые освещен вопрос о роли артезианских вод в карстовых образованиях. Большое значение имели также работы Геологического комитета по десятиверстной геологической съемке. Описания листов Общей геологической карты России содержат обильный фактический материал по карсту разных

¹ Ныне Свердловск.

районов. На севере Р. Л. Самойлович (1909) описал пещеры в гипсах Пинежского района. Карст, по преимуществу гипсовый, в северо-западной части Приволжской возвышенности изучал А. Н. Мазарович. Провалы в известняках восточной части Среднерусской возвышенности исследовали А. С. Козменко и Ф. В. Лушгерсгаузен. Карст Предуралья и Урала освещен в работах Н. И. Каракаша и В. А. Варсанюфьевой (*Гвоздецкий, 1954; Максимович и Горбунова, 1958*).

Карст Горного Крыма в течение ряда лет исследовал А. А. Крубер, опубликовавший результаты своего изучения в ряде статей и обобщающей монографии (*Крубер, 1915*). Он же исследовал карст Гагрского хребта, который описан также в статье М. В. Сергеева. Карстовые явления южного склона западной половины Большого Кавказа охарактеризованы во многих работах (В. Леонова, Ю. Н. Воронова, В. С. Доктуровского, Л. К. Конюшевского и др.). Н. И. Никшич, И. С. Шукин и др. описали карстовые формы северного склона Западного и Центрального Кавказа, а К. М. Курдов — Дагестана (*Гвоздецкий, 1952, 1954*).

Продолжают накапливаться данные и о карстовых явлениях Сибири. В. В. Сапожников (1912, стр. 57—60) в своем известном путеводителе упоминает о некоторых пещерах Горного Алтая. Балаганская пещера обследована А. Остоя-Ордынским (1903). Почвовед Н. К. Никифоров (1916) отметил карстовые озера на Лено-Вилуйском водоразделе и водоразделе Вилуя с Нижней Тунгуской. В. Н. Зверев (1914) вторично (после Стефановича) исследовал ледяную пещеру Абыгы-Джиэ на р. Мае.

Несколько исследователей обнаружили карстовые пещеры в Сихотэ-Алине, в бассейне р. Суйфун, на территории нынешней Еврейской автономной области и в других районах Дальнего Востока (*Пармузин, 1954*). На восточном склоне Сихотэ-Алиня близ зал. Ольги в Японском море В. К. Арсеньев в 1906 г. осмотрел две пещеры. О них он рассказал в сочинении «По Уссурийскому краю».

Формы известнякового карста в Средней Азии, например на хр. Каратау, описаны В. Н. Вебером. Некоторые исследователи отметили формы так называемого пустынного «глинистого карста», генетически обособленного по сравнению с настоящим карстом, но в отдельных случаях, например на хр. Малый Балхан (*Нацкий, 1916*),

имеющие, по-видимому, карстово-суффозионную природу.

Из исследований рассматриваемого периода особый интерес представляют работы А. А. Крубера, В. А. Варсанофьевой и А. С. Козменко. Из работ А. А. Крубера наиболее важными являются статья о гидрографии карста (1913) и монография «Карстовая область Горного Крыма» (1915). В статье детально изложена дискуссия в западноевропейской литературе о характере движения воды в карстовых массивах с критическим анализом и некоторыми выводами, основанными, в частности, на наблюдениях над карстом крымской Яйлы. В монографии же описываются карстовые явления в Горном Крыму и выясняются основные вопросы геоморфологии и гидрографии карста вообще. В каждой главе монографии сначала последовательно рассматриваются главнейшие литературные источники по соответствующему вопросу, а затем для выяснения вопроса привлекается материал наблюдений на крымской Яйле.

А. А. Крубер справедливо считал процесс растворения (коррозии) горной породы ведущим в образовании большинства карстовых форм, не отрицая при этом и существенного значения размыва (эрозии). Он отметил также, что во многих случаях «нельзя строго разграничить эрозионную и коррозионную деятельность воды» (1915, стр. 78). Крубер создал оригинальную концепцию эволюции грунтовых вод карста, осветил вопросы эволюции поверхностных карстовых форм, оценил значение состава горных пород, климатического режима, снежного покрова, растительности и почвенных растворов в развитии карста. Советские карстоведы в лице А. А. Крубера имеют одного из главных своих предшественников.

В статье В. А. Варсанофьевой (1915) о карсте северной части Уфимского плато хорошо показано различие карстовых форм в зависимости от геологических условий и на этом основании выполнено районирование территории. Высказанные ею взгляды об эволюции циркуляции грунтовых вод в карсте сходны со взглядами Крубера. Статья В. А. Варсанофьевой (1916) о карсте южной части Уфимского плато интересна широтой палеогеографических построений.

Исследования А. С. Козменко (1909, 1912—1913) в восточной части Среднерусской возвышенности дают наглядный пример подлинно географического подхода к

изучению карстовых явлений. В 1906—1911 гг. А. С. Козменко руководил гидрологической экспедицией Тульского губернского земства, которая на довольно обширной территории зарегистрировала все провальные образования, произвела их классификацию и показала на специальной карте. Была установлена связь карста с общими гидрологическими условиями района, выявлено его значение в гидрологическом режиме территории, в частности влияние на водоносность известняковых толщ. Эти исследования показали также гидрологическую роль карстовых форм, влияние лесной растительности на развитие карста, своеобразие растительного покрова на закарстованных участках и т. д. Работы экспедиции 1906—1911 гг. продолжала организованная А. С. Козменко в 1917 г. специальная Тульская экспедиция по изучению провальных образований (Зубащенко, 1948).

Таким образом, в рассматриваемый период не только пополнялись фактические данные о карстовых явлениях разных районов нашей страны, но и изучалось существо происходящих при развитии карста природных процессов, влияние различных физико-географических и геологических условий.

Характеристика советских исследований карста дана нами в опубликованной сравнительно недавно статье, написанной совместно с А. Г. Чикишевым (Гвоздецкий и Чикишев, 1967).

Методика изучения карста

Как видно из текста предыдущей главы, еще в первой половине XVIII в. была составлена инструкция по экспедиционным исследованиям, включавшая особый пункт об изучении пещер (Инструкция по «истории натуральной» для Великой Северной экспедиции). В процессе дальнейших исследований совершенствовалась методика изучения карстовых явлений и карстовых ландшафтов. В дореволюционное время для исследования карста стали применять различные аналитические методы, в частности химические анализы горных пород, в которых происходит развитие карста (*Крубер, 1915* и др.). Бурный рост исследовательских работ в советское время, которому сопутствовал прогресс естественных наук, отчасти также совершенствование методики исследования карста за рубежом вызвали дальнейшее развитие методов полевых исследований, внедрение в практику изучения карста разнообразных аналитических, геофизических, стационарных и экспериментальных методов.

Вопросам методики изучения карстовых явлений уделялось внимание в обобщающих монографиях о карсте (*Зайцев, 1940; Гвоздецкий, 1950, 1954; Ступишин, 1967*), учебных руководствах (*Попов, 1959*), публиковались отдельные статьи обзорного характера (*Максимович, 1956, 1967; Гвоздецкий, 1960а*) и специальные труды по отдельным методам, материал которых используется в последующих разделах. В 1964 г. в Перми состоялась специальная конференция по методике изучения карста, доклады которой были заранее опубликованы в девяти выпусках под названием «Методика изучения карста» (вып. 2—10, 1963—1964).

Настоящую книгу следует рассматривать не как учебное пособие, а как научную монографию. Поэтому нас не смущает, что изложение вопросов методики изучения карста предшествует характеристике самих карстовых

явлений, предполагается, что читатель уже знаком с основными сведениями о карсте из учебной географической и геологической литературы. Вместе с тем до освещения основных проблем и вопросов карстоведения нам хочется познакомить читателя с многообразием методов, применяемых сейчас при изучении карста, а попутно дать некоторые практические советы начинающим исследователям и информацию о литературе.

Полевые исследования

Некоторые указания по полевому исследованию карстовых явлений, имевшиеся в старом руководстве В. А. Обручева (1932), в специальном разделе монографии И. К. Зайцева (1940) и в изданном под редакцией С. В. Обручева «Справочнике путешественника и краеведа» (т. II, 1950, гл. IV, автор Н. И. Николаев), существенно дополнены материалами названной выше конференции. Используя литературные источники, мы будем основываться также на личном опыте полевых исследований карста.

Полевое изучение карста должно быть направлено прежде всего на выяснение закономерностей его развития, от которых зависит и распределение карстовых явлений в пространстве. Для этого необходимо выяснить роль различных факторов: состава и структуры горных пород, характера их залегания и трещиноватости, рельефа, климата, подземных и поверхностных вод, почв и растительности.

Для выяснения закономерностей развития карста необходимо проследить историю его формирования. При этом нужно основываться как на общих представлениях об истории геологического развития территории распространения карста, так и на анализе развития ее геологической структуры и рельефа непосредственно в поле. Поэтому изучение карстовых явлений нужно всегда проводить на фоне общего геологического и геоморфологического исследования территории, сопровождая специальное изучение карстовых форм и гидрологических явлений исследованием геологических разрезов (особенно тщательно с формами погребенного, или ископаемого, карста), различных геоморфологических уровней (речных террас в долинах, поверхностей выравнивания и

днищ древних долин и ложбин на междуречьях и т. п.), выяснением последовательности заложения различных форм и элементов рельефа, к которым приурочены отдельные карстовые формы и их группы и комплексы. В итоге должна быть достаточно ясна общая картина развития территории и ее рельефа, и только тогда можно будет говорить о последовательности развития, возрасте и стадиях развития карста, особенностях образования отдельных карстовых форм.

Изучение карста желательно сопровождать также ландшафтной съемкой территории. Важно выяснить приуроченность карста к определенным ландшафтным типологическим единицам и особенности карста в разных ландшафтных единицах, что позволит глубже раскрыть влияние физико-географических факторов. Очень перспективно, на наш взгляд, изучение карста на фоне ландшафтно-геохимических исследований территории с применением метода сопряженного анализа химического состава горных пород, подземных, поверхностных и метеорных вод, почв, элювиальных образований и коры выветривания, растительности. Полевые исследования при таком изучении должны сопровождаться отбором соответствующих образцов для лабораторного химического исследования.

Изучение состава и структуры горных пород. Геологическая карта (при отсутствии достаточно детальной геологической карты — материал полевой геологической съемки) должна быть основой для выяснения приуроченности карстовых явлений к определенным типам горных пород и стратиграфическим горизонтам. Необходимо определить взаимоотношение карстующихся и некарстующихся пород (как водоупорных, так и водопроницаемых) в вертикальном разрезе и горизонтальном направлении, выходы карстующихся пород на поверхность и залегание близ поверхности, изменение состава и структуры в вертикальном и горизонтальном направлениях. Для выяснения закономерностей развития и распространения карста важно выявить в стратиграфическом разрезе горизонты, пачки пластов и, может быть, даже отдельные слои значительной мощности с разной степенью карстуетости. Данные полевых наблюдений нужно сопоставить с результатами химических исследований горных пород. С этой целью и с целью геоморфологического изучения местности в поле берутся образцы горных пород для ла-

бораторного анализа (Зайцев, 1940; Николаев, 1950; Методы изучения осадочных пород, 1957).

И. К. Зайцев (1940) справедливо отмечает, что количество отбираемых образцов зависит от детальности исследований. Однако исследователь всегда должен ясно представлять себе, с какой целью он берет тот или иной образец для химического анализа, что именно он хочет выяснить и доказать его анализом. Следует решительно осудить практику бездумного отбора образцов, в результате чего совершаются излишние перевозки грузов и на это расходуются средства, а помещения для камеральных работ оказываются загроможденными горами ящиков и кучами образцов, из которых большая часть остается непроанализированной и даже неосмотренной и через какой-то промежуток времени, нередко достаточно большой, выбрасывается как ненужный хлам.

Некоторые примеры выяснения геоморфологии карстовых районов с помощью данных химического анализа горных пород и инструктивные указания по отбору образцов приведены нами в специальной работе (Гвоздецкий, 1963 а).

При исследовании карстовых процессов в глубине толщ горных пород важное значение приобретает изучение закарстованности по керну буровых скважин (Печеркин, 1963). Для карста в гипсово-ангидритовых толщах С. И. Парфенов (1966) предлагает исследование химического состава вод, находящихся в порах горных пород. Изучение водных вытяжек из раздробленных в порошок образцов пород, взятых из кернов буровых скважин, показало, что закарстованные сульфатные породы содержат в водных вытяжках пониженное количество хлора, натрия и калия. Этот метод повышает эффективность буровых работ, позволяет уменьшить количество скважин и значительно удешевить исследования, поскольку обнаружить при бурении закарстованную зону значительно легче, чем более ограниченную в размерах карстовую полость.

На развитие карста очень влияют поверхностные, в частности четвертичные, отложения, которые перекрывают карстующиеся породы. Их наличие, мощность, характер в значительной мере определяют тип карста (см. гл. VIII). Кроме того, покровные образования существенно влияют на инфильтрацию атмосферных осадков, изменяют их состав и агрессивность, тем самым оказывая

воздействие на агрессивность и режим карстовых вод. Необходимо установить генетический тип, гранулометрический и химический состав, мощность поверхностных отложений, приуроченность к формам и элементам рельефа разного возраста, изменение мощности в геоморфологическом профиле. Изучая поверхностные отложения, нужно брать образцы, чтобы затем выяснить их физико-химические свойства и состав в лабораторных условиях.

При изучении карста приходится учитывать не только современные геологические и физико-географические условия его развития, но, как отмечено выше, и особенности геологической истории и палеогеографическую обстановку. Для расшифровки истории развития и обстановки прошлого кроме обычных методов геологического и геоморфологического исследования приходится применять некоторые специфические методы, а в полевых условиях необходимо отобрать соответствующие образцы.

Одним из таких методов является метод минералогического анализа отложений, заполняющих карстовые полости. Например, при исследовании карстовых массивов юго-восточной Ферганы, в районе р. Араван, на одном из отпрепарированных известняковых гребней, который прежде был перекрыт лёссово-конгломератовой толщей $N_2 + Q_1$ (Гвоздецкий, 1960 б), мы встретили лёссовидный осадок в карстовой полости. Минералогический анализ показал тождество осадка с лёссовидными породами упомянутой толщи, и, таким образом, вопреки прежним представлениям было доказано, что в конце неогена эта полость уже существовала.

Рядом советских исследователей (Гричук, 1937; Гребенщикова, 1939; Кавсев, 1963), а также зарубежных, в частности польских (Szczepanek, 1968), применялся метод пылевого анализа для определения возраста и истории развития поверхностных карстовых форм. В обычных геолого-геоморфологических исследованиях применение этого метода уже давно не является редкостью, но по отношению к карсту оно, к сожалению, широкого распространения еще не получило.

О специфике изучения пещерных отложений будет сказано ниже.

Изучение условий залегания и трещиноватости горных пород. При изучении тектонических структур областей с нарушенным залеганием слоев горных пород как

условия развития карста необходимо выделять синклинальные, антиклинальные зоны и их ядра, участки с моноклинальным залеганием слоев, линии разломов, участки наибольшего тектонического дробления. Все это определяет особенности циркуляции карстовых вод, отражается на интенсивности развития карста и особенностях подземных и поверхностных карстовых форм.

Исключительно большое значение имеет трещиноватость, в большинстве случаев определяющая водопроницаемость карстующихся толщ и обеспечивающая возможность циркуляции воды внутри карстующегося массива. Она очень ярко отражается в характере карстовых форм и их распределении. Инструктивные указания к изучению трещиноватости карстующихся пород имеются в статье Г. В. Чарушина (1963), а методике графического изображения трещиноватости посвящена статья А. М. Овчинникова (1938). Для обобщения данных полевого изучения трещиноватости мы рекомендуем метод Тарра (см. рис. 2), который содержит конкретные цифровые данные и включает необходимость составления цифровых таблиц.

Изучение рельефа как фактора карстообразования. Рельеф оказывает существенное влияние на распределение поверхностного стока и областей питания карстовых вод, степень инфильтрации, на расположение зон разгрузки вод и водоотдачу карстующегося массива. Необходимо изучить гипсометрию поверхности и высотное положение карстующихся толщ, распределение дренажной системы и положение ее по отношению к карстующемуся массиву, от чего зависит направление стока карстовых вод, установить связь карстовых явлений с определенными формами и элементами рельефа. Рекомендуется полевое картографирование выявленных зависимостей (по всей площади района исследований и на отдельных ключевых участках), а также составление профилей, охватывающих различные формы и элементы рельефа, на которые следует наносить выходы горных пород, подземные и поверхностные карстовые формы, карстовые озера, источники и т. д.

Выяснение геолого-геоморфологической истории района — один из основных вопросов изучения карста. Оно позволяет установить эпохи усиления и затухания карстообразования, изменения в ходе развития карста, связанные с перемещением по вертикали базиса эрозии, вы-

яснить глубину распространения активно развивающегося карста, наличие древних погребенных, или ископаемых, карстовых форм, их геологический возраст и т. д. Полевые исследования с целью выяснения геолого-геоморфологической истории района ведутся на основе методики общих геологических и геоморфологических исследований и с применением некоторых специфических методов, о которых говорится в других разделах настоящей главы. Особое внимание уделяется выяснению новейших тектонических движений и их влияния на изменение условий питания, циркуляции и дренажа подземных вод (Николаев, 1950). Устанавливается связь развития карста с историей формирования гидрографической и долинной сети.

На фоне изучения геологической истории района должно проводиться исследование погребенного, или ископаемого, карста, методике которого посвящена специальная литература (Ступишин, 1963; Кудрин, 1963; Востряков, 1963; Радугин, 1963 а, б). Изучение форм ископаемого карста важно не только для выяснения истории развития карстовых процессов, но имеет и более широкое значение для общего геологического и геоморфологического анализа территории и, в частности, служит одним из методов выявления новейших тектонических движений (Галицкий, 1963).

Изучение климата как фактора формирования карста. Данные по климату берутся с метеорологических станций в районе исследования или ближайших к нему, особенно находящихся в сходных физико-географических условиях. Если таковых поблизости нет, то приходится проводить регулярные метеорологические наблюдения, устанавливать самопишущие приборы.

Особое внимание следует обращать на суммы годовых осадков, их характер (ливневые дожди, затяжные и т. п.) и сезонное распределение, высоту и распределение снежного покрова, его роль в развитии карста, зимние оттепели, промерзание и оттаивание почвы, влажность воздуха, процессы конденсации водяных паров, изменения температуры — сезонные и в течение суток (важно для выяснения процессов конденсации).

Растительный покров и почвы изучаются главным образом в связи с их влиянием на агрессивные свойства вод (см. гл. IV). При полевых исследованиях очень важно сопоставить интенсивность развития карста с харак-

тером почвенного и растительного покрова и с особенностями природно-территориального комплекса в целом.

Гидрологическое изучение закарстованной территории. При полевых исследованиях и камеральной обработке результатов надо обращать внимание на тот факт, что густота речной сети зависит от степени закарстованности территории. Следует изучать расходы водотоков и состав поверхностных вод, при этом особое внимание обращать на места усиленного поглощения воды в закарстованных долинах и на приток в эти долины подземных карстовых вод, проводить комплекс лимнологических исследований карстовых озер. Специальные вопросы методики исследования режима стока карстовых вод, влияния карста на сток рек, роли подземного питания в жидком и ионном стоке рек освещены в работах Л. А. Владимирова (1963), В. А. Балкова (1963, 1970, гл. II) и П. Ф. Бочкарева (1963).

Общее гидрогеологическое исследование закарстованной территории и изучение карстовых вод. Одним из важнейших факторов карстообразования являются подземные воды. При полевых исследованиях нужно выяснить условия залегания, распространения, питания и формирования подземных вод, особенности их циркуляции, режима, взаимосвязь различных типов подземных вод, характер их дренажа. Гидрогеологическое исследование ведется на основе данных геологической съемки и четкого представления о геологическом строении территории. Проводятся наблюдения над выходами грунтовых вод (родники, колодцы, грунтовые воды в карстовых формах рельефа, поверхностных и подземных), исчезающими под землю водотоками — ручьями и реками. Все пункты выходов вод на поверхность, а также места поглощения водотоков отмечаются на карте. Производится нивелировка выходов грунтовых вод путем барометрического, а при детальных исследованиях — геодезического нивелирования. Строятся профили с геологическими и гидрогеологическими данными.

Определяется высотное положение карстовых источников, выясняется зависимость выхода источников от геологических, тектонических и геоморфологических элементов карстового района, измеряются температура воды, расход. Пробы воды для химического анализа берутся как при обычных гидрогеологических и гидрохимических исследованиях (чаще всего используются поллитро-

ные бутылки, для сокращенного анализа нужно не менее 0,5—1 л воды). Желательно иметь полевую химическую лабораторию для простейших определений (Николаев, 1950, стр. 56; Толстихин, 1950, стр. 112). Если при взятии пробы воды одновременно был произведен замер дебита источника, то данные химических анализов вод источников могут характеризовать интенсивность современных процессов выщелачивания. Важно иметь серию соответствующих наблюдений в разные сезоны при различных погодных условиях.

Особое внимание уделяется постоянству режима карстовых вод. Оно может быть установлено только при длительных наблюдениях над группой источников в разное время года; при маршрутных исследованиях в периоды длительных остановок в одном пункте нужно отмечать, как изменяется режим источника при выпадении осадков, таянии снега и т. п. (Зайцев, 1940, Николаев, 1950).

Подземная гидрологическая связь между пунктами водопоглощения и карстовыми источниками, направление и скорость движения подземных потоков устанавливаются путем запуска в месте поглощения воды красящих веществ или соли и улавливания этих веществ в воде источников. Для определения направления и скорости течения подземных вод при гидрогеологических исследованиях применяются разные красители: для щелочных вод — флуоресцеин, эозин, эритрозин, флуорантрон, конго красный, для кислых вод — метиленовый синий, анилиновый голубой, малахитовый зеленый, родамин В и др. (Коротеев, 1936; Овчинников, 1955; Drew and Smith, 1969). При исследовании карстовых вод известняковых массивов чаще всего применяется флуоресцеин (Якуч, 1963; Гвоздецкий, 1970; Trombe, 1952; p. 272; Drew and Smith, 1969). В СССР его использовали, например, в Горном Крыму для установления связи подземного водотока Красной Пещеры — речки Краснопещерной с поверхностным водотоком, исчезающим в карстовой шахте Провал на Долгоруковской яйле. Через 48 часов после запуска флуоресцеина в шахту Провал родники на туфовой площадке при входе в пещеру, питаемые Краснопещерной речкой, окрасились в ярко-зеленый цвет (Дублянский, Гончаров, 1970). Применялся флуоресцеин для выяснения подземных гидрографических связей в карстовых районах Западного Закавказья, в частности Б. А.

Гергедавой и А. А. Окроджанашвили на участке Келасурской пещеры близ Сухуми, а также и в других пунктах того же района (Владимиров, 1963). Окрашивание вод флуоресценцием производилось у нас и при изысканиях карста в связи с гидротехническим строительством (см. гл. XII).

Флуоресценция ($C_{20}H_{12}O_5$) сравнительно слабо растворим в воде и хорошо — в щелочных растворах. В щелочной среде окрашивание и флуоресценция гораздо сильнее, чем в растворах, близких к нейтральным. Дело в том, что при растворении флуоресценцина в щелочном растворе образуется его натриевая соль — уранин, который очень хорошо растворяется в воде. Чтобы пробы воды, взятые из источника, с которым предполагается связь поглощенных вод, показали окрашивание достаточно отчетливо, к ним прибавляют несколько капель аммиака (пашатырного спирта). Если в воде есть флуоресценцин, то под действием аммиака даже совершенно бесцветные растворы приобретают желто-зеленый цвет. Аммиак восстанавливает щелочность среды, которая может быть потеряна водой в подземном пути из-за влияния углекислого газа и глинистых отложений, в связи с чем уранин перешел в флуоресценцин и уменьшилась флуоресценция. С добавлением в пробу воды аммиака образуется аммонийная соль флуоресценцина, которая так же хорошо флуоресцирует, как и раствор уранина. Для окрашивания вод удобнее всего применять сухой уранин или концентрированный раствор, приготовленный на месте из смеси флуоресценцина с едким натром либо с кальципарованной содой.

Иногда направление и скорость движения подземного потока определяются с помощью поваренной соли (Коротеев, 1936). Например, болгарский гидролог П. Пенчев в докладе на IV Международном спелеологическом конгрессе в Югославии «Карстовые источники Глава Панега» (НРБ) сообщил об успешном исследовании подземной гидрологической связи с применением метода засоления воды. У нас этот метод применялся на р. Слюдянке в Прибайкалье (Вологодский, 1968).

В последнее время в Австрии, Югославии и среди английских исследователей получил широкое распространение метод запуска в пункты поглощения вод окрашенных спор плаунов (*Luscorodium clavatum*), предложенный австрийскими исследователями В. Маурином и И. Цёт-

лом (Maurin, Zötl, 1960; Гвоздецкий, 1970; Drew and Smith, 1969). Подземная гидрологическая связь устанавливается также методами запуска в воду меченых угрей, минералогического анализа осадков, взятых в местах исчезновения и выхода воды, и с помощью изотопов тритиума. Эти методы наряду с окрашиванием воды флуоресцеином были применены для установления связи вод Нотраньской Реки с истоками р. Тимава в Югославии (Гвоздецкий, 1970).

Наиболее распространенные из методов — засоление вод, окрашивание и запуск спор плаунов. Метод засоления требует отбора проб воды во всех предполагаемых пунктах их выхода, поскольку визуально засоление не распознается и необходимы дополнительные лабораторные исследования для определения повышенного содержания соли химическим путем или измерением электропроводности. Надежный и удобный метод окрашивания флуоресцеином требует непрерывного дежурства у пунктов предполагаемых выходов вод, а часто и отбора проб для восстановления щелочности аммиаком (см. выше). Кроме того, этот метод, как и метод запуска окрашенных спор плаунов, считается дорогим из-за высокой цены используемых материалов. И. Цебецауер (Sebesauer, 1970) предлагает более удобный и дешевый по используемому материалу метод запуска в пункте водопоглощения маленьких (диаметром 0,2—3 мм) разноцветных шариков из полистирена. При таком методе нет необходимости непрерывно контролировать предполагаемые пункты выхода вод, поскольку шарики захватываются здесь планктоновыми сетками. (Заметим, однако, что если улавливание шариков планктонной сеткой исключает необходимость непрерывного дежурства и контроля у выхода вод для установления факта подземной гидрографической связи, то они все же нужны при определении, а это очень существенно, срока добегания воды от пункта поглощения до места выхода.)

При исследовании подземного водотока Брестовской пещеры потребовалось 5 кг полистиреновых шариков. Надежность метода проверялась в тех местах, где подземные гидрографические связи были определены до этого флуоресцеином. Результаты практически получились одинаковыми.

При использовании метода запуска полистиреновых шариков флуоресцеин приходится применять лишь в тех

местах, где предполагается фильтрация карстовых вод через рыхлые осадки.

Методика изучения карста при гидрогеологических исследованиях и гидрогеологической съемке карстовых районов освещена в специальных работах (Васильев, 1963; Чуринов, 1963; Шимановский, 1963). Для детального гидрогеологического изучения карста при гидрогеологических исследованиях в карстовых областях выделяются наиболее интересные ключевые участки (Горбунова, 1963).

Разведочные и опытные работы в условиях закарстованных пород сопряжены с большими трудностями, чем в условиях других водопроницаемых пород. Бурение разведочных скважин дает значительно менее надежные результаты, так как характеризует карст только в точке бурения и не дает оснований для надежной экстраполяции. При бурении выполняется тщательное описание керна скважин, из водоносных и в разной степени карстующихся горизонтов отбираются образцы пород для химического анализа, выполняются пробные откачки воды, проводятся частые наблюдения за температурой воды в скважине и ее химическое опробование. Чтобы определить степень закарстованности, проводятся опытные работы по нагнетанию воды. Ведутся опытные откачки, данные которых (по результатам откачки из одной скважины или опытному узлу) могут экстраполироваться однако лишь с большой осторожностью. Бурение скважин часто дает меньше, чем тщательно проведенная съемка, и поэтому разведочные работы в условиях карста следует рассматривать как дополнение к съемочным работам (Зайцев, 1940). Весьма эффективным дополнением является геофизическая разведка, которой посвящен особый раздел настоящей главы.

Изучение поверхностных карстовых форм. Поверхностные карстовые формы при описании одновременно наносятся на карту, зарисовываются и фотографируются. Изображается очертание формы в плане, в разрезах по длинной и короткой осям (при сложном строении дается несколько поперечных разрезов). На чертеже и в описаниях отмечаются горизонтальные и вертикальные размеры (в достаточно глубоких формах определяются с помощью anerоида-высотомера, высота вертикальных стен измеряется непосредственно), азимуты направлений (определяются горным компасом), в тексте и графиче-

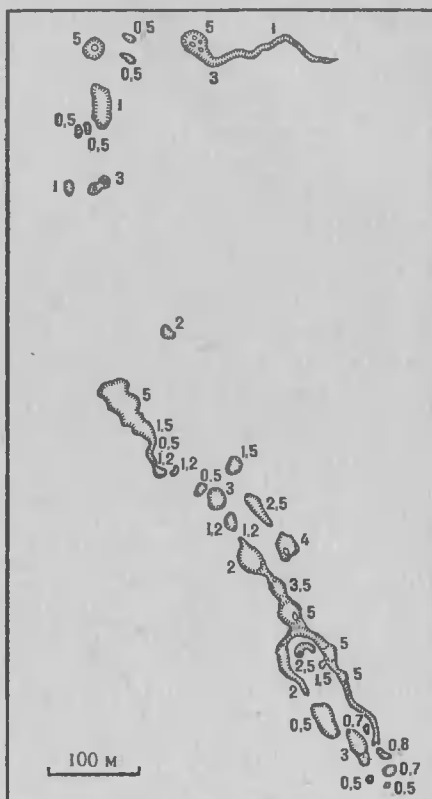
чески показывается связь с элементами залегания слоев горной породы, со слоями разной карстуемости, с трещиноватостью. Изображения форм не должны быть безликими, «аморфными» — все характерные морфологические особенности на чертежах и рисунках обязательно подчеркиваются. Отмечается характер краев и бортов, степень задернованности склонов и дна, особенности растительности, наличие на дне и склонах обвальных образований, элювия и делювия, понор, их открытость (а также форма и направление) или заиленность, заболоченность, скопления воды или снега и т. п. Гипсометрическое положение форм устанавливается по топографической карте и путем барометрической привязки к ней. Изучается характер распределения различных карстовых форм в плане, связь их расположения с эрозионными формами, системами трещин. Составляются (глазомерно или полуинструментально) планы характерных участков (рис. 1, см. также Гвоздецкий, 1963 а, 1954, стр. 223).

Производится подсчет количества воронок на единицу измерения поверхности (например, на 1 кв. км) в разных условиях рельефа и геологического строения. Устанавливается генетический тип воронок и других отрицательных карстовых форм. При изучении карровых полей определяются: густота карровых борозд, преобладающие глубина и направление, связь с наклоном топографической поверхности (отмечается крутизна склона), наличие и состав продуктов выветривания в карровых бороздах и углублениях, скопления снега, дается диагностика типа карров.

Характеристика слепых долин, карстовых желобов и рвов должна включать направление, уклон, крутизну, форму поперечного сечения, обнаженность дна и склонов, наличие воронок, понор, карров, выходы источников, места появления и исчезновения воды, связь с пещерами (Николаев, 1950). Так же характеризуются поля, для которых особенно важно установить связь с геологическим строением и тектоникой, отношение к уровню подземных вод и его режиму, наличие на дне аккумулятивных паносов, краевых карстово-денудационных равнин, останцов.

Изучение подземных карстовых форм. Мы здесь не касаемся техники исследования пещер и естественных шахт, которая освещена в специальной спелеологической литературе (Илюхин, Дублянский, 1968; Якуч, 1963;

Рис. 1. Схематический план расположения карстовых форм в закарстованном логу на правобережье Оки в окрестностях Касимова. Цифры указывают глубину карстовых форм в метрах (по Н. А. Гвоздецкому и В. А. Шматкову).



Folsom, 1962), а коснемся лишь методики научных исследований.

Прежде всего следует точно установить местоположение пещеры и нанести его на карту, выяснить его отношение к окружающему рельефу, определить абсолютную и относительную высоту (над уровнем реки, подножием склона и т. п.). Следует поинтересоваться названием пещеры, его смысловым значением и происхождением. Описание пещеры ведется параллельно с ее съемкой, т. е. составлением плана, продольных и поперечных разрезов. Съемка пещеры обычно (за исключением случаев, требующих точных маркшейдерских работ) ведется с помощью буссоли или горного компаса, рулетки или мерной ленты, пикетажных колышков, anerоида-высотомера.

Размеры и азимутальные направления отмечаются на плане, размеры — также на чертежах разрезов. На плане и разрезах нужно четко передавать характерные морфологические особенности: прямолинейность или закругленность стен, ниши, вертикальные полости, выступы, неровности, связь морфологии с расположением (наклоном) слоев и разной степенью их податливости выщелачиванию, с трещинами и натечными образованиями. При камеральной обработке чертежей точно изображаются размеры и направления, а зарисовки характерных морфологических особенностей помогают как бы нарастить «мясо» на этот скелет, оживить изображение, наглядно показать морфологические особенности пещеры. Для составления планов и разрезов пещер, а также естественных шахт предложены различные методы и системы условных обозначений (Дублянский, 1963 а; Vodicka, 1965; Максимович, 1963 а; *Signes conventionnels...* 1966).

Разрезы должны быть привязаны к плану с помощью тонких прямых связующих линий (поперечные разрезы) и системы буквенных индексов, относящихся не только к местам изгибов и скрещивания ходов, но и к характерным участкам, для которых даются поперечные разрезы (или эти участки нумеруются, например, римскими цифрами). Наносится продольная ось пещеры (с изломами на местах изменения направления хода), по которой строится продольный разрез. Примеры отражения на плане и разрезах общих морфологических особенностей пещер, связи их с напластованием, трещиноватостью и натечными образованиями приведены нами в предыдущей монографии (Гвоздецкий, 1950, 1954) и других работах.

При описании, сопровождающем съемку пещеры, следует обратить внимание на форму входа и его ориентировку (на север, на юг и т. д.), выделить типичные участки (залы, гроты, коридоры и пр.), отмечать связь формы полостей с элементами залегания слоев горных пород, системами трещиноватости (направления всех трещин измеряются и фиксируются), характером растворимых пород в разных слоях (особенно тех, к которым приурочены ниши или выступы; для подтверждения различий в их растворимости следует брать образцы для химического анализа). Описываются натечно-капельные образования (характерные места их развития отмечаются на плане), подземные ручьи и отдельные струи, реки, озера

(берутся пробы воды для химического и газового анализов), капеж со стен и потолка пещеры. Особо выделяются места с сильным капежом, притоки подземных рек и участки подземной бифуркации водных потоков (Дублянский, 1963 б). При многократных посещениях пещеры устанавливается связь гидрологического режима (повышения уровня вод в реках, ручьях и озерах, усиление капежа) с погодными условиями. Описываются осыпи, конусы выноса под расположенными над пещерой воронками и колодцами, характер и состав пещерных отложений. Отмечаются археологические и палеонтологические находки, о них сообщается в соответствующие организации или они специально изучаются (Бадер, 1963; Домбровский, Щепинский, 1963), копируются (на рисунках или фотопутем) настенные изображения — памятники искусства древнего человека. Устанавливается связь пещеры с гипсометрическими уровнями, с тектоническими и геоморфологическими элементами (например, с речными и морскими террасами, днищами и бортами древних долин и т. д.), с карстовыми воронками, котловинами, полями и другими поверхностными формами.

При помощи термометра-праща и других метеорологических приборов, в том числе приборов-самописцев, ведутся метеорологические наблюдения внутри пещеры (в разных точках) и одновременно вне пещеры. Изучаются термический режим, влажность и направление движения воздуха. С помощью самописцев (термографа и гигрографа) ставятся наблюдения для количественного определения образования конденсационной влаги (Устинова, 1963) ¹. В ледяных пещерах подробно изучаются, описываются, зарисовываются и фотографируются различные ледяные образования (Максимович, 1946, 1963 б). Выясняется происхождение пещерного льда, отбираются образцы для анализа (объем 1000—2000 куб. см).

Известны попытки установления возраста капельных образований, например, отдельных сталактитов по их поперечным разрезам. Подсчитывают наслаивающиеся в определенном сезонном ритме концентрические образования (Vitásek, 1940 и др.), что дает приблизительное представление о начале заполнения пещерной полости натечно-капельными образованиями и крайнем верхнем пределе ее возраста.

¹ См. гл. III данной книги, раздел «Конденсация».

Целый комплекс методов применяется для изучения пещерных отложений (Фриденберг, 1970). Изучается обломочный материал, его морфология, вещественный состав. Например, количественное содержание SiO_2 указывает на степень выветрелости, гумуса и P_2O_5 — на интенсивность органической жизни в привходной части пещеры. Для установления абсолютного возраста осадков и палеонтологических находок в пещерах можно применять радиоуглеродный метод (Серебряный, 1961, 1965; Чердынцев, Алексеев и др., 1965; Schmidt, Chrapan, 1970). Разрабатывается метод определения абсолютного возраста пещерных отложений по неравновесному урану и торию в натечно-капельных образованиях. Выяснено, что в обломках сталактитов и сталагмитов, находящихся в составе пещерных отложений, присутствуют радиоактивные элементы, и это дает возможность установить возраст их захоронения. Подобные опыты проводились в США (Trimmel, 1969), а у нас такое исследование провел В. В. Чердынцев (Чердынцев, Казачевский, Кузьмина, 1965), по неравновесному урану и торию он пробовал определить абсолютный возраст обломков из Ахштырской пещеры на Черноморском побережье Кавказа.

Методика изучения и графического изображения связи долинной сети с трещиноватостью. Связь долинной сети с трещиноватостью горных пород составляет характерную особенность многих карстовых районов, причем разработка долины происходит здесь при непосредственном участии карстовых процессов. Вопрос этот затрагивался во многих работах, начиная с классических трудов А. Добре и Э. А. Мартеля. Нами кратко обобщена основная литература по этому вопросу с привлечением данных собственных наблюдений в некоторых карстовых районах (Гвоздецкий, 1954, стр. 221 и след.), уделено внимание методам графического изображения связи долинной сети с трещиноватостью (Гвоздецкий, 1963 б).

Параллельно с изучением трещиноватости производится исследование долинной сети, для чего могут быть применены два способа: 1) непосредственный замер в поле направлений прямолинейных отрезков долин, балок и т. п., причем если изучаемые формы невелики по размерам, то это исследование может сопровождаться глазомерной или полуинструментальной съемкой; 2) изучение долинной сети по топографическим картам. По ним определяется прямолинейность отдельных отрезков долин,

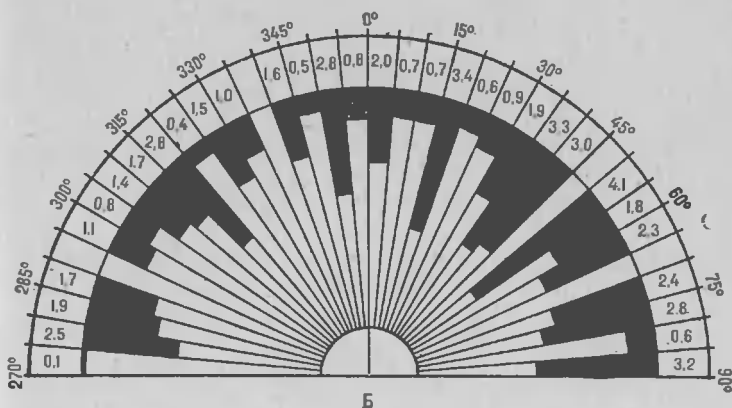
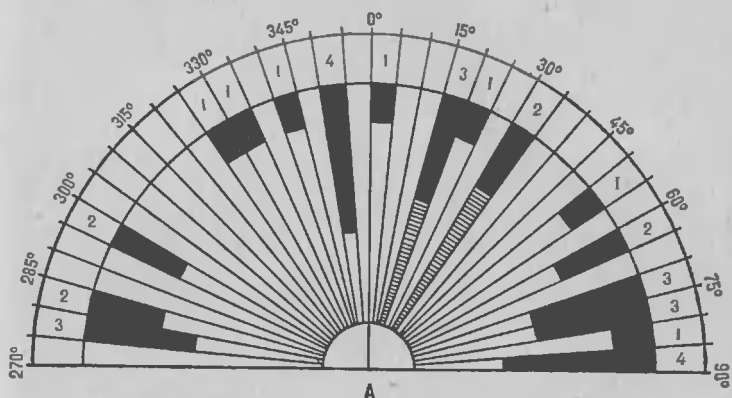


Рис 2. А — Суммарная диаграмма трещиноватости мраморизованных известняков и доломитов синия-кембрия в нижнем отрезке горной части р. Катули. Цифры внутри полукруга и черная заливка показывают количество замеренных тектонических трещин разных направлений. Штриховкой показаны замеренные направления трещин напластования.

Б — Суммарная диаграмма направлений речных долин в том же районе. Цифры внутри полукруга и черная заливка показывают километраж отрезков долин различных направлений (по Н. А. Гвоздецкому).

измеряются азимут их направления и протяженность. Результаты измерений сводятся в таблицы и изображаются графически.

При исследовании карста Приангарья и одного из приокских районов для изображения трещиноватости мы воспользовались методом Тарра и аналогичный способ применили для параллельного показа суммарной длины участков долин различного направления (см. указанные выше работы). Способ, аналогичный методу графического изображения трещиноватости Тарра, и в случае параллельного показа трещиноватости и направлений долин нам представляется наиболее предпочтительным потому, что он наглядно отображает имеющуюся закономерность в обобщенном виде и в то же время содержит конкретные цифровые данные. Здесь нет необходимости параллельно приводить цифровую таблицу, как это бывает при других способах (Гвоздецкий, 1963 б).

Сопоставление направлений прямолинейных отрезков долины с системами трещиноватости в горных районах со складчатой структурой представляет большую трудность, чем в платформенных условиях, так как направление долин определяется здесь не только трещинами тектонической отдельности, но и трещинами напластования, простирание которых в известных пределах может меняться на коротких расстояниях в связи с местными изгибами осей складчатых структур, что осложняет также и картину тектонической трещиноватости. И тем не менее применение рекомендованного нами способа при исследовании одного из районов Горного Алтая достаточно себя оправдало (рис. 2), несмотря на кратковременность полевых исследований и неполноту отражения трещиноватости выполненными замерами. Совпадение направлений долин с трещиноватостью во многих случаях выявляется весьма наглядно: помимо системы под азимутом 15° четко прослеживается связь долин и трещин азимута 350° , большое совпадение наблюдается в нижней части диаграмм с правой, отчасти и с левой стороны.

Для сопоставления направления речных долин с трещиноватостью применяется также метод построения сводной розы тектонических трещин и розы направления речных долин (Спиридонов, 1970).

Связанная с трещиноватостью прямолинейность отрезков долин в известняках и доломитах, сопровождающаяся резкими изломами направлений долин, служит

характерным дешифровочным признаком этих карбонатных пород (Гвоздцкий и Чалая, 1970).

Картографирование карста

Для выявления закономерностей распространения карста, наглядного изображения карстовых форм рельефа и условий их развития применяется картографический метод. В нашей отечественной науке опыты картографирования карста относятся еще к дореволюционному времени (Козменко, 1912—1913). Интересный опыт картографирования карстовых форм рельефа имеется в работе З. В. Яцкевич (1937), посвященной карсту Индерского поднятия на Прикаспийской низменности (фрагмент этой карты воспроизведен у А. И. Сипиридонова, 1970). Методика комплексной среднемасштабной и крупномасштабной съемки карста на примере Горного Крыма содержится в работах Б. Н. Иванова (1964 а, б) и Т. И. Устиновой (1964). Значительный интерес представляют работы С. М. Зенгиной (Иванов, Ильина, 1965; Зенгина, 1966, 1967 а, б), которая составила несколько карт карстовой области Горного Крыма и ее отдельных участков (яйл), а также проект карстологического атласа Горного Крыма, состоящий из серии карт, детально характеризующих и оценивающих факторы карстообразования, отображающих морфологию и интенсивность развития карста. Заслуживают внимания крупномасштабные карты карста, выполненные на Дзержинской карстовой станции. Существуют опыты картографирования интенсивности развития карста (Торсуев, 1965 и др.).

Что касается мелкомасштабных обзорных карт, то первая карта распространения карста на территории Советского Союза была составлена Ю. П. Пармузиным (1962) при участии других лиц для Музея земледения МГУ в 1954 г. и опубликована в книге по инженерной геологии СССР И. В. Попова (1961). Несмотря на крайнюю схематичность и неполноту, эта карта все же давала общее представление о распространении на обширной территории нашей страны карстующихся горных пород, карстовых форм и литологических типов карста. Значительные работы по картографированию карста проведены Всесоюзным паучно-исследовательским институтом гидрогеологии и инженерной геологии совместно с территориальными геологическими управлениями Министерст-

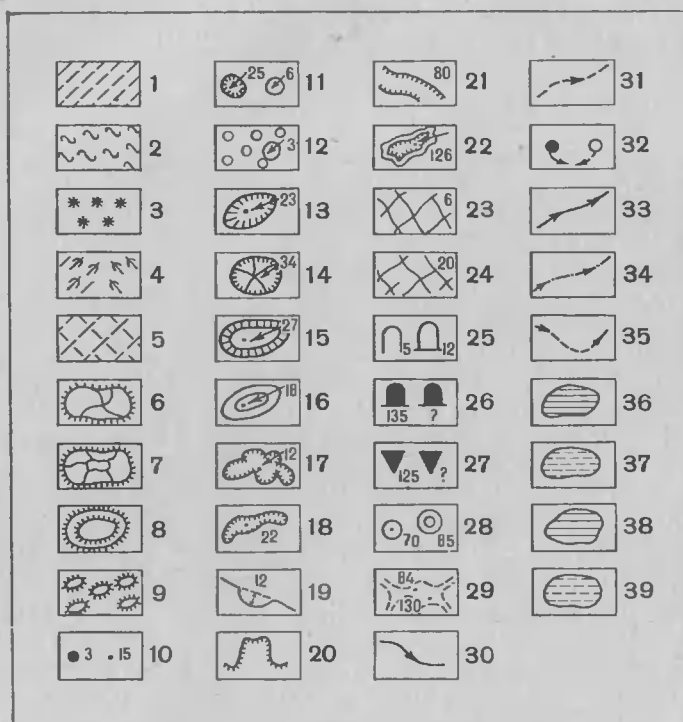


Рис 3. Условные обозначения карстовых форм.

1—обыкновенные карры, 2—маленькие карры, 3—пикообразные карры (карровые гребни), 4—округлые карры (карровые гребни), карровые ребра, 5—перекрещивающиеся карры, 6—хум (останец) с ребрами, 7—хум с уплощенной вершиной, 8—останец башенного и конического карста, 9—моготы, 10—полость с указанием глубины, 11—воронка, маленькая воронка, 12—система воронок, 13—асимметричная воронка, 14—воронкообразный понор, 15—воронка в виде лохани (шайки), 16—плоская воронка, 17—котловина типа увала, 18—богаз (карстовый ров), 19—глубокая воронка на склоне, 20—мешкообразная долина, 21—каньон, 22—полье, 23—трещины небольшой глубины и трещинные карры, 24—трещины значительной глубины и трещинные карры, 25—пещера-ниша, пещера небольшой глубины, 26—пещера, непроходимая пещера, 27—пропасть (полость естественной шахты) известной и неизвестной глубины, 28—понор, колодец, поглощающий или извергающий воду, 29—сухие пещерные галереи известной величины, 30—постоянный водоток, 31—временный водоток, 32—источник постоянный и временный, 33—подземный водоток известного направления, 34—подземный водоток неизвестного направления, 35—подземный водоток временный, 36—поверхностное озеро, 37—временное поверхностное озеро, 38—подземное озеро постоянное, 39—подземное озеро временное. При картировании указанных форм и явлений употребляются разные цвета: 1—23, 25—красный; 10—правый, 24, 26—29—синий; 30—32, 36—37—темно-зеленый; 33—35, 38—39—светло-зеленый.

ва геологии СССР. Результатом этих работ явилось составление мелкомасштабных карт карста Европейской части СССР с Уралом и Кавказа (Родионов, 1963), Казахстана (Карст Казахстана, 1967), Средней Азии, Сибири и Дальнего Востока.

За рубежом картографированию карста посвящены три первых листа «Международного карстового атласа» (на территории районов Кубы, северной Италии и Пуэрто-Рико: Zeitschr. f. Geomorph., Suppl. Bd. 2, 1960; Atlante Intern. del Fenom. Carsici. Foglio 2 — Bosco del Consiglio, Prealpi Venete, 1960; Erdkunde, Bd. XVIII, H. 2, 1964). Картографический метод изображения карста применен лишь на первой странице каждого листа, представляющей собой планшет топографической карты типичного карстового района. На следующей странице помещены репродукция аэрофотоснимка одного из участков, наземные фото, геологические картосхема и профиль, а на последних (3 и 4-й) страницах — текстовая характеристика геологических и климатических условий развития карста, его морфологии и гидрографии.

Карта карста Кубы составлена Нуньесом Хименесом совместно с чехословацкими карстововедами В. Паношем и О. Штелцлом (Nuñez Jiménez, Panos, Stelcl, 1968). В методическом отношении интересен опыт обзорного картографирования карста Словакии, выполненный П. Яначиком (Janáček, 1968). На листах карты карста Румынии (Orghidan și colab., 1965) раскраской дана геологическая основа (площади распространения известняков различного возраста) и значками с порядковой нумерацией показано местоположение пещер (в статье о карте помещен их список).

Комиссией карстовых явлений Французского национального комитета географии под руководством П. Фенелона и активном участии ныне покойного Ж. Корбеля на основе международного сотрудничества в 1962 г. были разработаны легенды для атласа карстовых явлений и крупномасштабных карт карстовых явлений. Позднее условные обозначения для карт поверхности закарстованных массивов предложены комиссией информации, терминологии и условных обозначений Международного спелеологического союза (Signes conventionnels... 1966). Часть этих обозначений нами воспроизводится (рис. 3). Информация о зарубежных опытах картографирования карста содержится в статье С. М. Зепгиной (1970).

Аэрофотосъемка очень широко применяется при исследовании карстовых явлений. Выше упоминалось об аэрофотоснимках характерных участков на листах «Международного карстового атласа». При полевых исследованиях с помощью аэрофотоснимков часто впервые обнаруживаются отдельные карстовые формы, карстовые участки и даже целые карстовые районы. Нами использовались аэрофотоснимки при изучении карста Приангарья, хребта Петра Первого, Заалайского хребта, восточного замыкания Алайской долины, Восточного Памира, Тянь-Шаня, Накеральского плато в Западном Закавказье, приокских карстовых районов Русской равнины и др. Аэрофотоматериалы широко использовались исследователями карста Устюрта, что сказалось на точности картографирования карстовых участков этой своеобразной пустынной области. На основе материалов аэрофотосъемки выполнено исследование карста в бассейнах рек Пинеги и Кулоя (Багрова, 1968). Опубликованы данные по дешифрированию карстовых форм в карбонатных породах Кизелевского каменноугольного бассейна (Кузнецова, 1969).

Благодаря специфическим внешним признакам карстовые формы хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках (Петрусевич, 1962). Крупные карстовые формы распознаются даже на космических фотографиях (Виноградов, Григорьев, 1970). Но лучшие результаты получают при использовании крупномасштабных аэрофотоснимков.

Для исследования карста применяется также и метод аэровизуальных наблюдений (Михайлов, 1964).

Стационарные исследования

При изучении карста советскими специалистами применяются стационарные методы исследования. Первые карстовые стационары у нас в стране были созданы в лесостепном районе Среднерусской возвышенности (Ново-Михайловская гидрологическая станция Орловской обл.—Козменко, 1932) и на Урале в Кизеловском каменноугольном бассейне (Уральская научно-исследовательская карстовая станция — Ильин и Кельманский, 1938). Позднее в Предуралье был организован Кунгурский стационар Уральского филиала АН СССР, который дейст-

вует и по настоящее время, проводя исследования Кунгурской ледяной пещеры и других карстовых форм в ее районе. Стационарные исследования ведутся не только над морфологическими и гидрологическими особенностями Кунгурской пещеры, но и над ее климатом и ледовым режимом. Стационарные исследования пещерного климата ведутся и в зарубежных странах, например в венгерской пещере Иштвана (Гвоздецкий, 1970).

Другой карстовый стационар, основным объектом изучения которого также являлась пещера, был организован в Адлерском районе Черноморского побережья Кавказа, где в верховьях Кудепсты и Восточной Хосты находятся крупные Воронцовские пещеры (Соколов, 1959). Этот стационар первоначально был создан при Крымском филиале АН СССР, а затем перешел в ведение Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР. При той же лаборатории была создана поныне действующая Дзержинская карстовая станция, исследования которой связаны с промышленным и гражданским строительством в условиях активного карбонатно-гипсового карста (Ильин, Капустин и др., 1960). Разработанные этой станцией прогнозы основывались на гидрохимических и геофизических данных и на применении вероятностных и статистических методов, о чем будет сказано в последнем разделе главы.

Стационарные исследования в карстовых районах могут иметь весьма различный характер. Во-первых, это могут быть геоморфологические наблюдения: за ростом отдельных карстовых полостей, натечных образований в пещерах, за расширением и выколачиванием с одновременным уменьшением глубины свежих провалов (такого рода наблюдения могут проводиться эпизодически, как это нами выполнялось над Осинским провалом в Приангарье и провалом у тракта Ош-Хорог в долине Кызыларт на Памире). Под наблюдение могут быть взяты отдельные трещины, карры, поноры, воронки, находящиеся в разных условиях. Тщательное описание, измерение и фотографирование повторяются через определенные промежутки времени, желательно не менее одного раза в сезон. Измерение ведется от специально расставленных знаков и марок. Такие наблюдения могут быть результативными лишь при многолетних систематических измерениях, что легко выполнимо в условиях научного стационара. Во-вторых, это могут быть микроклиматические

наблюдения не только над пещерами, но и над поверхностью карстовых участков и отдельными карстовыми формами. В-третьих, гидрологические наблюдения над расходом, химическим составом, режимом поверхностных водотоков и озерных вод. В-четвертых, гидрогеологические наблюдения над карстовыми водами; объектами этих наблюдений являются уровни, расходы, температура и химизм карстовых вод. Как и в случае геоморфологических наблюдений, здесь возможны наблюдения эпизодического характера в связи с особыми атмосферными явлениями — ливнями, засухой и пр. (Зайцев, 1940). Наконец, могут быть организованы ландшафтные стационарные наблюдения над динамикой отдельных карстовых участков как особых природных комплексов. Очень перспективны стационарные ландшафтно-геохимические исследования с применением сопряженного химического анализа компонентов комплекса в разные сезоны года.

Лабораторно-экспериментальные исследования

Как сказано выше, лабораторные аналитические методы исследования карста применялись еще в дореволюционное время. В связи с решением проблем большого практического значения в советское время получили широкое распространение опытные лабораторные исследования на растворимость и выщелачивание различных горных пород в разных условиях. Первые исследования такого рода провели А. Асташев (1932), П. Н. Бутырин (1935, 1936) и Ф. Ф. Лаптев (1939). Экспериментами Ф. Ф. Лаптева было доказано, что скорость растворения карбонатных пород не находится в прямой зависимости от содержания в воде агрессивной углекислоты, в связи с чем он предложил различать понятия «интенсивность карбонатной агрессии» и «карбонатная емкость». Результатом исследований Ф. Ф. Лаптева является также вывод о том, что наличие в воде ионов солей и кислот существенно влияет на растворимость как карбонатных, так и сульфатных пород, хотя последние могут растворяться и в чистой воде без каких-либо сопутствующих реакций.

И. К. Зайцев (1940) наметил следующие пути лабораторных исследований скорости и характера растворения карстующихся пород в разных условиях: 1) раство-

рение различных по структуре, литологии и химическому составу пород в химически чистой воде при разных давлении и температуре; 2) то же в растворах отдельных компонентов, встречающихся в растворенном виде в природных водах; 3) то же в различных смесях по количеству и комбинациям этих компонентов; 4) то же в растворах, приближающихся по составу к природным водам, но в больших концентрациях; 5) то же в различных природных водах; 6) то же при различных состояниях растворителя — покой, капельное воздействие, струйчатое и т. п.

Н. В. Родионов (1949, 1956) проводил опыты с растворением доломитовой муки и пластинок образцов карбонатных пород, вырезанных из керна буровых скважин, где особенное внимание обращал на изменение в процессе растворения структуры породы. Очень важны результаты эксперимента А. М. Кузнецова (1947) по выщелачиванию гипса и ангидрита.

Е. М. Абашидзе (1967, 1968) на собственных экспериментах растворимости стенок трещин глауконитовых известняков Шаорского водохранилища (Кавказ) выяснила, что с увеличением скорости течения воды в трещинах насыщенность раствора снижается, однако интенсивность выноса и суммарное количество растворенного карбоната кальция возрастают, что приводит к более быстрому расширению трещин. Из ее опытов вытекает, что волосные трещины за 25 лет непрерывной фильтрации могут расширяться настолько, что это необходимо учитывать при гидротехническом строительстве.

На громадном экспериментальном материале основывается исследование А. А. Колодяжной (1970) агрессивности природных вод в карстовых районах Европейской части СССР и Кавказа. Данные этого исследования нами широко использованы в следующих главах.

Из зарубежных экспериментальных исследований интересны эксперимент Аланда и Барбары Говард (Howard A., Howard B., 1967) по растворению известняков с воздействием ламинарного потока между параллельными плоскостями, воспроизводящими условия трещины, и исследования Л. Якуча (Jakucs, 1966) динамики и химизма образования капельников.

Известны опыты петрографического исследования карстовых образований, проводимого параллельно с химическим исследованием (Шерстюков, 1940; Маслов,

1945). Для изучения природы заполнителей в зонах карстовых нарушений Прибалтийского сланцевого бассейна помимо химического и минералогического анализов применялись термический анализ глин, определение абсолютного возраста глин кали-аргоновым методом, спектральный анализ для диагностики сульфидов по микроэлементам, определение изотопного состава серы и углерода карбонатов и другие методы (Газизов, 1966).

Геофизические методы

Применение геофизических, и в частности электрометрических, методов к изучению карстовых явлений началось в 30-х годах нынешнего столетия (Löhnberg, Stern, 1932; Löhnberg, 1934). В нашей стране мысль о возможности применения электроразведки для изучения карста впервые была высказана в 1932 г. проф. А. А. Петровским. Электрометрические методы привлекли внимание наших исследователей (Петровский и Крамарев, 1935; Головцин, 1935) в связи с изучением карста Кизеловских угольных месторождений. В. Н. Головцин (1935) на основе указаний А. А. Петровского провел небольшие исследования на моделях. К 1933—1934 гг. относятся первые опыты полевых электроразведочных работ для изучения карста в СССР. Известен опыт применения электроразведки к замаскированной карстовой воронке в Саратовском Заволжье (Хмелевский, 1936). Электроразведка поверхности погребенного, или ископаемого, карста была с успехом применена в Донбассе (Каленов, 1938). В дальнейшем применение геофизических методов к изучению трещиноватости горных пород (Бибииков, 1940), карста и карстовых вод значительно расширилось. С конца 40-х годов электроразведка вошла в практику геологических исследований и стала приносить ощутимую пользу. Она применялась при поисках и разведке полезных ископаемых в карстовых районах, при изучении причин и методов борьбы с затоплением шахт, при гидрогеологических исследованиях (Kantás, 1951 и др.), при изысканиях под гидротехническое и железнодорожное строительство и т. д. (Огильви, 1946, 1951; Головцин, 1947; Горелик и Сахарова, 1951).

Для изучения карста наиболее широко из всех геофизических методов применяется электроразведка (Го-

ловщин и др., 1966; Огильви, 1956, 1960, 1962; Матвеев, 1963 а, б; Полевой, 1964; Смирнов, 1963; Тарунина, 1963), являющаяся наиболее экономичной и во многих случаях достаточно эффективной. Методы электроразведки карста основаны на разной электропроводности участков земной коры различного строения (карстующихся скальных и полускальных пород с пустотами, рыхлых и особенно водных заполнений, рыхлых покровных отложений) и на изменении сопротивлений электрического тока. С помощью электроразведки можно, не проводя дорогостоящих работ по бурению, выявить зоны, в которых трещины и карстовые полости заполнены водой (их узнают по резкому уменьшению сопротивления тока), отбить кривую падения зеркала грунтовых вод в борту речной долины, обнаружить формы погребенного, или ископаемого, карста, выявить профиль закарстованного докола террасы в речной долине, выяснить распределение систем подземных полостей и зон повышенной трещиноватости, подземных карстовых потоков и т. д. Для этого применяются методы электропрофилирования, вертикального зондирования и др.

При электроразведке используют свойство анизотропии, т. е. неодинаковой электропроводности трещиноватых и дислоцированных слоистых пород в разных направлениях. Оно выявляется при круговом профилировании, круговом вертикальном зондировании и пр.

Хорошие результаты дает электроразведка совместно с буровыми работами, с помощью которых производятся геологическая интерпретация данных электроразведки, определение путей движения подземных вод (нагнетанием электролита в буровые скважины, т. е. методом электрического каротажа, — Матвеев, 1963 б; Брашнина, 1970) и пр. Геологическая и «подземно-топографическая» интерпретация данных электроразведки производится также при использовании в качестве эталонных участков местностей с достаточно хорошо изученными крупными карстовыми пещерами (у нас, например, Кунгурской пещеры — Матвеев, 1963 а; Огильви, Матвеев, Шкабария, 1960; Полевой, 1959; Чикишев, 1964) или при сочетании электроразведки со спелеологическими исследованиями.

Изучение крупных карстовых полостей и пещер осуществляется методами волновой радиоразведки (ондометрии) с применением колебаний высокой частоты. Эти методы с успехом использовались В. Фричем (Fritsch,

1943; см. также: Огильви, 1956, гл. VI), которому удалось открыть несколько новых пещер. Методы радиоволнового просвечивания и радиоволнового картирования применялись и нашими исследователями в карстовых районах Северного Урала, в окрестностях Кунгура, а также в Крыму, в Красных пещерах Долгоруковской яйлы (Хмелевский, 1963; Фролов, 1962, 1963).

Кроме электроразведки из геофизических методов применяются сейсморазведка¹ (Огильви, 1956; Полевой, 1963), геотермические наблюдения, а также метод пропуска по карстовым ходам какого-нибудь характерного газа, который затем обнаруживается в пробах воздуха, взятых из других пещер или из устьев трещин на земной поверхности (газовый способ разведки). Для установления связи между карстовыми пустотами с помощью компрессора в карстовые ходы и полости нагнетаются эманации радия с последующим измерением радиоактивности воздуха в других пустотах. Несмотря на дороговизну, применять эманации радия целесообразно, так как метод отличается высокой точностью радиоактивных определений и возможностью производства повторных опытов, в то время как обычные газы могут задержаться в отдельных пустотах и трещинах и исказить результаты повторных измерений (Огильви, 1956). В случаях, когда карстовые пустоты заполнены переотложенными породами с повышенной магнитной восприимчивостью, целесообразна магниторазведка. Этот метод геофизических исследований дает положительные результаты вблизи выходов на поверхность железорудных пород, продукты разрушения которых накапливаются в полостях, создавая магнитные аномалии. В комплексе с другими геофизическими методами может применяться гравиметрическая съемка (Огильви, 1956; Брашнина, 1968, 1970 а, б).

Из геофизических методов при исследовании карста применяется еще метод резистивиметрии поверхностных водоемов. Изменяется электропроводность водных растворов в зависимости от характера и количества растворенных солей. С помощью этого метода изучается распределение зон разгрузки вод разной минерализации, что имеет существенное значение для познания процессов

¹ Сейсморазведка у нас впервые была применена А. И. Заборовским при исследовании поверхности погребенных закарстованных террас на Волге у Самарской Луки (Попов, 1967).

развития карста. Этот метод дает также возможность обнаружить участки субмаринной разгрузки пресных вод (Брашнина, 1968, 1970 б).

Количественные методы.

Математические методы

Необходимость прогнозирования развития карста в практических целях, а также общая тенденция развития естественных наук на современном этапе способствовали в последние два десятилетия широкому применению количественных методов исследования.

Довольно разнообразные количественные методы используются при освещении отдельных частных вопросов карстоведения и выяснении некоторых закономерностей, например, при исследовании гидрологических особенностей карстовых районов (Владимиров, 1964; Балков, 1966, 1970), при определении количества конденсационной влаги в пещерах (Устинова, 1963) и др. И. Гамс (Gams, 1968) выполнил интересный опыт подсчета скорости осаждения кальцитовых натеков в Постойнской пещере (Югославия) и количества карбоната кальция, осаждающегося за год (в весовых единицах), определил вес больших сталактитовых колонн, по нему подсчитал возраст этих колонн, который в свою очередь позволил судить о верхнем пределе возраста пещеры. Свои выводы он сопоставил с данными о возрасте пещеры других авторов, полученными с помощью археологического и флюор-апатитового методов. Применяются количественные оценки интенсивности формирования просадочно-провальных карстовых образований (Иванов, 1970). При карстологических и спелеологических (Максимович, 1969, 1970) исследованиях широко применяются морфометрические методы, подсчет количества карстовых форм на определенную площадь (Абдужабаров, 1970; Яковенко, 1970 и др.) и т. д. Для сопоставления отдельных карстовых форм введены критерии подобия (Ступишин, Трофимов, Торсуев, 1965).

Те методы, о которых говорилось в предыдущих разделах, — стационарные, лабораторно-экспериментальные и геофизические — тоже, строго говоря, относятся к точным и количественным методам, поскольку при их использовании приходится оперировать с цифровыми, ко-

личественными данными. Наряду с этим разрабатываются и применяются также некоторые специфические математические методы исследования.

Например, на Дзержинской карстовой станции для выявления частоты возникновения провалов разного размера в условиях карбонатно-гипсового карста Дзержинского промышленного района был применен метод, основывающийся на теории вероятности. Путем статистической обработки данных о количестве, частоте возникновения и размерах провалов по разным участкам вычислена вероятность возникновения провалов определенного размера. Полученные данные о вероятности карстовых провалов и графики распределения их по диаметрам нашли практическое применение (Саваренский, 1962, 1963). Метод математической статистики для оценки вероятных размеров карстовых провалов применен при исследовании участков гипсового карста в пределах Рязано-Охлебининского вала на территории Башкирской АССР (Верзаков, 1969).

Статистические методы использовались при определении средних значений поперечников и глубин провальных образований в гипсовом и карбонатном карсте и отклонений от этих средних значений (Усольцевы, 1970), при установлении связи между формой карстовых воронок и вещественным составом карбонатных пород (Задорожная, 1970), при выявлении приуроченности провалов к системам тектонических трещин (Скуодис, 1970), при распределении оценочных показателей различных карстовых полостей, при обработке данных многолетних наблюдений над снежным покровом, микроклиматом полостей, данных полустационарных гидрохимических наблюдений, с установлением ряда корреляционных зависимостей (Дублянский, 1970).

Количественные данные обрабатываются графически как для поверхностных (Задорожная, 1970 и др.), так и для подземных карстовых форм. Например, В. С. Лукин (1966) с помощью суммарных кривых, характеризующих размеры карстовых полостей, установил, что при одном и том же объеме в сульфатных породах вмещается меньшее число полостей, чем в карбонатных породах, но по величине они больше. Тем не менее крупнейшие полости характерны для известняков, что можно объяснить, по мнению указанного автора, их большей прочностью (по нашему мнению, имеют значение также большая мощ-

ность и горизонтальная протяженность известняковых толщ (по сравнению с гипсовыми).

Закономерности, получаемые математическими методами, необходимо объяснять исходя из сущности изучаемых явлений. К сожалению, это делается не всегда, и иногда математические методы применяются чисто механически.

Для систематизации карстовых форм по данным полевых наблюдений можно применять перфокарты. На примере карста Горного Алтая такой опыт выполнен нашими аспирантами М. Н. Абишевым и А. М. Марининым. Для обработки массовых количественных данных применяются электронно-вычислительные машины (Яковенко, Сидорчук, 1969; Усольцевы, 1970).

Перспективно, на наш взгляд, применение системного подхода к изучению карста.

Количественным методам изучения скорости карстовой денудации посвящен особый раздел следующей главы. В последних главах монографии мы коснемся еще некоторых методов изучения карста в связи со специфической решенной отдельных практических вопросов.

Обширный материал о карсте, накопленный к настоящему времени, получен разнообразными методами исследования. Многие из них описаны в данной главе. Обобщению этого материала и посвящены следующие главы монографии.

Химизм карстовых процессов

Поскольку развитие карста связано главным образом с процессами выщелачивания горных пород, большое значение в выяснении его сущности имеют современные представления по теории растворов из области физической химии.

Растворимости и скорости растворения карбонатных пород и гипсов было посвящено серьезное исследование Ф. Ф. Лаптева (1939). Важным вкладом в разработку теории растворов явились исследования О. Я. Самойлова (1957 а, б). Д. С. Соколов отметил их значение для развития геохимии и гидрогеологии (1959 а). Вопросы растворимости и растворяющей способности водных растворов обстоятельно разобраны в докторской диссертации и монографии Д. С. Соколова (1959 б, 1962). Он рассматривает их на основе современных представлений о природе кристаллических веществ, в частности минералов, из которых состоят растворимые в воде горные породы, а также о структуре воды и трансляционном движении частиц водных растворов. Данные Д. С. Соколова приводятся в труде Г. А. Максимовича (1963). Вопрос о растворимости и скорости растворения каменной соли и некоторых других солей в соляном карсте с использованием новейших данных из области физической химии освещен Г. В. Короткевичем (1967, 1970). Главные из названных работ, в частности труд Г. А. Максимовича, монографии Д. С. Соколова и Г. В. Короткевича, опубликованные на основе диссертационных исследований, широко известны, и поэтому нет необходимости пересказывать содержание соответствующих разделов.

Растворимость различных солей, из которых состоят карстующиеся горные породы

Приведенная ниже таблица, составленная по различным источникам, показывает растворимость солей при нормальном атмосферном давлении.

Таблица 1

Соль	Температура, °С	Растворимость, г/л		Источник
		в дистиллированной воде	в воде, содержащей CO ₂	
CaCO ₃	16	0,013		<i>Gèze</i> , 1965, стр. 31; БСЭ, изд. 2, т. 19, стр. 470.
	16		0,05—0,06*	<i>Gèze</i> , 1965, стр. 31; <i>Лантев</i> , 1939, стр. 10.
CaCO ₃ · -MgCO ₃	25	0,015		<i>Соколов</i> , 1962, стр. 84.
	?	0,003		<i>Попов</i> , 1959, стр. 198.
	25		0,126**	<i>Соколов</i> , 1962, стр. 122.
CaSO ₄	18	2,02		БСЭ, изд. 2, т. 19, стр. 470.
	20	2,05		<i>Лантев</i> , 1939, стр. 48.
NaCl	25	2,1		<i>Соколов</i> , 1962, стр. 84.
	10	357,2		<i>Короткевич</i> , 1970, стр. 43.

* Указана растворимость в воде, находящейся в равновесии с воздухом. В природных водах, как правило, содержится больше углекислого газа, чем в воде, находящейся в равновесии с воздухом, и растворимость еще более повышается.

** Указана растворимость в воде, содержащей в 4 раза больше углекислого газа, чем при равновесии с воздухом.

Данные этой таблицы показывают, что карбонат кальция, из которого состоят известняк, мрамор и мел, в дистиллированной воде практически нерастворим, так же как и доломит. Растворимость указанных карбонатов значительно более высока в воде, содержащей углекислый газ, но тем не менее она гораздо ниже, чем растворимость сернокислого кальция, из которого состоят гипс и ангидрит, и тем более хлористого натрия (каменная

соль). Даже при температуре, значительно более низкой, чем указанная для остальных солей, растворимость хлористого натрия на несколько порядков выше.

Карбонат кальция встречается в природе в виде минералов кальцита и арагонита. Арагонит немного более растворим в воде, чем кальцит (Попов, 1959), но разница практически ничтожна. Приведенные в таблице данные о растворимости карбоната кальция и двойной углекислой соли кальция и магния (доломит), к сожалению, трудно сопоставимы, так как для двойной соли указана растворимость в воде, содержащей вчетверо больше углекислого газа, чем в случае карбоната кальция. Вопрос о соотношении растворимости кальцита и доломита будет рассмотрен ниже.

Процесс растворения карбонатных пород

Наиболее существенное отличие карбонатного карста от других литологических типов заключается в особом ходе процесса растворения карбонатных пород. Как видно из приведенной выше таблицы (№ 1), карбонатные породы практически растворимы лишь в воде, содержащей свободную углекислоту или же другие минеральные и органические кислоты. Помимо этого растворимость карбонатных пород может повышаться, если в воде содержатся некоторые соли, например NaCl.

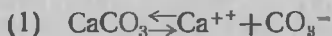
Процесс растворения известняка в воде, содержащей свободную углекислоту, происходит довольно сложно. Он представляет собой совокупность различных химических превращений, тесно связанных между собой. Наиболее существенные из них следующие:

1. $\text{CaCO}_3(\text{тверд.}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{растворен.})$
2. $\text{CaCO}_3(\text{растворен.}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{++} + \text{CO}_3^{=}$
3. $\text{CO}_2(\text{возд.}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{водн.})$
4. $\text{CO}_2(\text{водн.}) + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$
5. $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
6. $\text{H}^+ + \text{CO}_3^{=} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$

Уравнения 1—6 отражают взаимодействующие между собой самостоятельные равновесия, суммируя которые мы получаем известное уравнение $\text{CaCO}_3(\text{тверл.}) + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2(\text{возл.}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{++} + 2\text{HCO}_3^-$, передающее процесс в обобщенном виде¹.

В этом взаимодействии равновесий швейцарский карстовед А. Бёгли (Bögli, 1956, 1960) выделил четыре фазы, последовательно вступающие в действие. Несмотря на то что указанные работы А. Бёгли кратко реферировались в нашей печати, а некоторые из них использовались в журнальных статьях о карсте (Гвоздецкий, 1957, 1958, 1961 а, б), в капитальных обобщающих трудах по карстоведению (Соколов, 1962; Максимович, 1963), его представление о «механизме» процесса растворения известняка не нашло отражения. Основываясь на второй из указанных работ Бёгли, И. С. Щукин (1964) изложил этот вопрос, но, к сожалению, с досадными ошибками. Целесообразно поэтому коротко остановиться на представлении А. Бёгли.

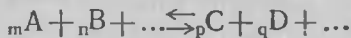
В выделенной А. Бёгли *первой фазе* известняк растворяется в воде непосредственно, без всякого участия содержащейся в воде углекислоты:



Процесс растворения происходит очень быстро, так что практически тотчас же достигается равновесие. При достигнутом состоянии равновесия в 1 л воды при тем-

¹ Для количественного анализа указанных равновесий можно пользоваться общепринятыми в таких случаях математическими уравнениями, связывающими между собой концентрации каждого из участвующих в данном равновесии компонентов посредством константы равновесия (величины, постоянной при определенной температуре).

В общем виде для любого химического равновесия



константа равновесия
$$K = \frac{[\text{C}]^p \cdot [\text{D}]^q \dots}{[\text{A}]^m \cdot [\text{B}]^n \dots},$$

где [A], [B], [C], [D] ... — молярные концентрации каждого компонента; m, n, p, q — стехиометрические коэффициенты.

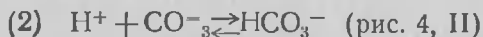
Зная константу равновесия, можно рассчитать количественный результат добавления любого компонента.

Из анализа последнего уравнения по отношению к реакции растворения карстующихся пород легко понять, что добавление в раствор соли, имеющей общий ион с твердой фазой, снижает их растворимость.

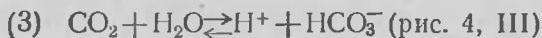
пературе 8,7° растворяется 10 мг углекислого кальция, при 16°—13,1 мг, при 25°—14,3 мг (данные Шлёзинга).

Во второй и третьей фазах растворения вступает в действие содержащаяся в воде двуокись углерода—CO₂. От ее общего количества только 0,7% (при 4° С) соединяется с водой и бывает представлено как H₂CO₃, остальные 99,3% растворены в воде физически.

Во второй фазе H⁺-ион угольной кислоты¹ ассоциирует с CO₃⁼-ионом первой фазы (1):



Образующаяся из 0,7% растворенной в воде CO₂ угольная кислота немедленно реагирует своим H⁺-ионом с CO₃⁼-ионом растворенного карбоната кальция. Поэтому вторая фаза лишь теоретически протекает после первой, практически же одновременно с ней. Обратимая реакция второй фазы предопределяет сдвиг в образовании гидрокарбонатных ионов. Поскольку из-за ассоциации с H⁺-ионами ионы CO₃⁼ изымаются из равновесия (1) и равновесие нарушается, для его восстановления необходимо новое растворение известняка. Нарушается также равновесие между физически и химически растворенной в воде CO₂. В третьей фазе в угольную кислоту и ее ионы превращается физически растворенная в воде CO₂:

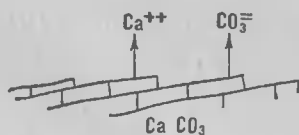


Это начало цепной реакции, конечным итогом которой будет дальнейшее растворение известняка.

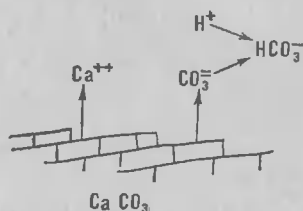
Общее количество известняка, растворенного во вторую и третью фазы, определяется первоначальным содержанием CO₂ в воде, которое при определенной температуре является линейной функцией от парциального давления CO₂ в воздухе. Количество растворяющейся в воде CO₂ прямо пропорционально парциальному давлению в атмосфере Р и фактору А, называемому, по

¹ А. Бёгли рассматривает здесь процесс растворения известняка при участии CO₂ в чистом виде. Но в природе H⁺-ионы не обязательно связаны с диссоциацией угольной кислоты, в природных водах могут быть H⁺-ионы и другого происхождения и отделить их от H⁺-ионов диссоциированной угольной кислоты можно только теоретически.

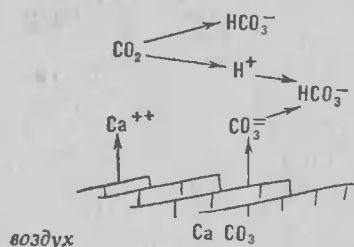
I



II



III



IV

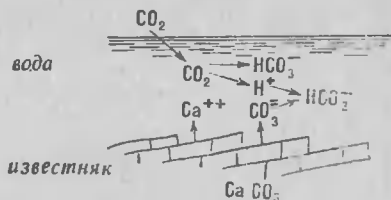


Рис. 4. Четыре фазы растворения известняка (по А. Бёгли).

Ф. Тромбу, фактором обмена, который зависит от температуры¹:

(4) CO_2 растворен. в г/л = А. р. 1,964,

где коэффициент пропорциональности 1,964 численно равен весу 1 л CO_2 в г (при 0° С и нормальном давлении).

Теоретически при среднем парциальном давлении CO_2 в свободном воздухе 0,0003 атм в 1 л воды при 0° С

¹ Таблица величины этого фактора при разной температуре, взятая из работ Бёгли, помещена в нашей статье «Проблемы карстования» (Гвоздецкий, 1958).

растворяется 1,01 мг CO_2 ; при 25°C — только 0,45 мг. В действительности эти величины, особенно около поверхности почвы, значительно больше. Г. Леманн на Кубе определил при температуре 22°C содержание CO_2 2,5 мг/л, а А. Бёгли в долине Бизис в Альпах при температуре около 5°C получил величины между 2,2 и 2,6 мг/л. Талая вода, циркулирующая в толще снега, содержит CO_2 в количестве между 1,32 и 3,63 мг/л.

Скорость реакции и обмена вещества в третьей фазе высокая. Она увеличивается с повышением температуры. При повышении температуры на 10°C скорость реакции примерно удваивается. Из этого становится ясным, отмечает Бёгли, «увеличение вчетверо скорости растворения от альпийского и арктического к тропическому климату» (Bögli, 1960, стр. 7). Это положение подтверждается как данными измерений, так и характером форм закарстованной поверхности.

Четвертая фаза практически начинается после завершения трех предшествующих и до конца контролирует ход дальнейшего растворения известняка. CO_2 воздуха, которая в начале четвертой фазы находится в максимуме неравновесия с CO_2 в воде, постепенно в нее диффундирует (рис. 4, IV). Многочисленные условия равновесия определяют ход процессов в четвертой фазе. Важнейшим фактором является диффузия CO_2 из воздуха в воду. Известняк может растворяться лишь до тех пор, пока не наступит равновесие между CO_2 в воздухе и в насыщенном растворе бикарбоната кальция. Скорость растворения известняка лимитируется скоростью диффузии, которая очень мала. Поэтому требуется много времени, чтобы была достигнута предельная концентрация CO_2 . По исследованиям А. Бёгли, для достижения равновесного состояния нужно по меньшей мере 24 часа, чаще же значительно больше (на суммирующей схеме растворения известняка в работе А. Бёгли, 1960, дано 60 часов, но обычно процесс продолжается гораздо дольше, тогда как две первые фазы проходят, по той же схеме Бёгли, за 1 сек., а третья—за 1 мин.). При повышении температуры наблюдается значительное ускорение диффузии и равновесие достигается раньше.

Обмен вещества и интенсивность растворения уже к началу четвертой фазы малы и продолжают уменьшаться далее. Активность первых трех фаз во много выше четвертой фазы.

Высокая скорость процессов в трех первых фазах определяет их быстрое действие на известняк. Поэтому даже на очень крутых откосах из оголенного известняка под действием быстро стекающей воды успевают образоваться разделенные острыми ребрами параллельные желобки — желобковые карры (Rillenkarren). Под действием четвертой фазы возникают бороздчатые карры (Rinnenkarren) и трещинные карры (Kluftkarren) (Bögli, 1956, 1960).

При дождевых осадках действие трех первых фаз удлиняется, поскольку все время примешиваются агрессивные воды.

Формирование агрессивности природных вод

Агрессивность природных вод по отношению к карбонатным породам может быть связана не только с CO_2 и H_2CO_3 , но и со многими другими минеральными и органическими кислотами. Формирование агрессивности природных вод, являющейся основным фактором возникновения и развития карбонатного карста, подробно рассмотрено А. А. Колодяжной (1967, 1970).

Следует сразу же отметить, что факторы, создающие условия для образования кислых агрессивных вод, являются в значительной мере ландшафтными. К числу этих факторов относятся: атмосферные осадки, химический состав которых соответствует сильнокислым, кислым и щелочным растворам; кислые почвы, увеличивающие рН инфильтрационных вод за счет катионного обмена и углекислого газа почвенного воздуха; щелочные почвы, обогащенные органическим веществом, которое служит активным адсорбентом, извлекающим из инфильтрационных вод ионы кальция и магния; лесные массивы, увеличивающие кислотность атмосферных осадков при прохождении их сквозь кроны деревьев; подземные и поверхностные воды, вытекающие из районов распространения кристаллических и эффузивных пород, обогащающие различными химическими компонентами подземные воды осадочного комплекса; микробиологическая деятельность, продуцирующая многочисленные органические кислоты, которые поступают в поверхностные и подземные воды; воды низинных и верховых болот, содер-

жащие органические кислоты; минеральные источники и углекислые термы, поставляющие в карстующиеся толщи углекислый газ из глубины; гипергенез рудных и других месторождений полезных ископаемых, обогащенных сульфидами, зона которого представляет собой источник интенсивного накопления агрессивных растворов, обуславливающих возникновение так называемого рудного карста; привнос солей, влияющих на кинетику растворения известняков (NaCl , MgCl_2 , Na_2SO_4) со стороны моря; жидкие, твердые и газообразные продукты, связанные с деятельностью промышленных предприятий и также участвующие в формировании агрессивных вод.

Все эти факторы влияют на метаморфизацию природных растворов и участвуют в формировании их агрессивных свойств.

Не имея возможности подробно остановиться на каждом из названных факторов, ограничимся лишь изложением некоторых данных, отсылая читателей за более полной информацией к названным работам А. А. Колодяжной, особенно к ее последней монографии (1970).

Атмосферные осадки представляют собой многокомпонентный химический раствор, который формируется при взаимодействии жидкости, газа и твердого вещества, находящегося в атмосфере в виде аэрозолей или ядер конденсации. Вблизи промышленных предприятий воздух загрязнен различными веществами, в том числе окислами серы, азота, углерода и т. д., которые значительно увеличивают агрессивность метеорных вод. В условиях морских побережий атмосферные осадки в некоторой мере насыщаются морскими солями (NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2) и, инфильтруясь через кислые почвы, вступают в обменную реакцию с поглощенным водородом, из-за чего резко снижается pH инфильтрующейся воды, которая приобретает агрессивные свойства. Увеличение агрессивности атмосферных осадков происходит при взаимодействии их с кронами деревьев и инфильтрации через лесную подстилку и почву. В итоге атмосферные осадки приобретают свойства весьма агрессивного раствора по отношению к карбонатным породам. Высокую кислотность (pH 3,0—3,6) могут иметь атмосферные осадки при грозových ураганах, что объясняют образованием азотной кислоты в связи с грозowymi разрядами. Кислые дожди (pH 2,4—4,5) часто выпадают вблизи действующих вулканов, выделяющих хлор и CO_2 .

Преобладающие химические компоненты в атмосферных осадках — HCO_3^- и SO_4^{2-} . В пределах Европейской части СССР и Кавказа количество HCO_3^- , поступающее с атмосферными осадками, доходит до 25 т/кв. км в год (западное крыло Московской синеклизы, Тагильский синклиний, антиклинорий Большого Кавказа), а SO_4^{2-} — до 10 т/кв. км в год (северо-западное и западное крылья Московской синеклизы, антиклинорий Большого Кавказа). рН атмосферных осадков находится в пределах 3,5—6,5. Низкими значениями рН и, следовательно, агрессивностью обладает конденсационная влага (роса, иней).

Одним из основных источников формирования агрессивности природных вод является углекислый газ. На земной поверхности его продуцирует главным образом органическое вещество при различных биологических превращениях, преимущественно в почвенном слое. Одновременно протекают многочисленные реакции, формирующие CO_2 в почвах, при выветривании горных пород, в зоне гипергенеза рудных месторождений, при выбросах промышленными предприятиями в атмосферу дымовых и газовых отходов и т. д. Имеет также значение выход CO_2 , образующейся на глубине в связи с постмагматическими процессами. Количество выделяющейся в атмосферу углекислоты составляет от 3—5 до 10 л/сутки с 1 кв. м. На территории Европейской части СССР и Кавказа количество CO_2 в атмосфере увеличивается с севера на юг соответственно возрастанию продолжительности вегетационного периода.

Что касается углекислого питания инфильтрационных вод, то наиболее мощным его источником, несомненно, являются «биохимические процессы и прежде всего те, которые развиваются в почвенных горизонтах» (Соколов, 1958, стр. 67). Даже в наших умеренных широтах содержание CO_2 в почвенном воздухе «в несколько десятков раз превышает среднее содержание CO_2 в атмосфере» (там же), во влажных же тропиках и субтропиках оно еще более возрастает.

Углекислота в почве образуется за счет деятельности микроорганизмов и почвенной фауны, дыхания корней растений и химических процессов. Главная роль, по-видимому, принадлежит микроорганизмам. В умеренных широтах наибольшее выделение CO_2 почвой обычно происходит в летний период (Соколов, 1962).

Важным фактором, определяющим агрессивные свойства природных вод, является серная кислота, которая в естественных условиях формируется в основном за счет окисления сульфидов и серы. Много серной кислоты содержится в атмосферных осадках, насыщенных промышленными дымовыми и газовыми отходами и вулканическими эксгаляциями. В соответствующих разделах следующей главы мы коснемся некоторых аспектов формирования кислых агрессивных вод под влиянием растительности и в почвах. Здесь важно отметить не только присутствие CO_2 в газовой фазе почв, но и наличие в них органических кислот (гуминовой, щавелевой, муравьиной, уксусной и др.), а также минеральных кислот (соляной, серной и др.), образующихся при окислении минералов, катионном обмене и биохимических процессах. Кислые воды, формирующиеся при участии гуминовых кислот, фульвокислот и растворенной CO_2 , характерны для торфяных залежей и болот. Происхождение CO_2 в болотных водах связывают с процессами разложения органических остатков.

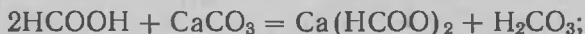
По данным М. С. Кавеева, в районе г. Зеленодольска (Среднее Поволжье), где развиты болотные образования, карбонатные породы карстующейся толщи почти полностью превращены в доломитовую муку. Исследования химического и минерального состава пород показали, что «инфильтрационные воды, содержащие органические (гуминовые и фульво-) кислоты, воздействуя на карбонатные породы, легко нарушают связность между зернами, и порода превращается в мучнистую массу». Этого не наблюдается там, где болотные образования отсутствуют. По данным того же исследователя, в районе с. Столбищи воды, имеющие кислую реакцию за счет содержания гуминовых кислот, «вызвали определенные геохимические процессы в толще карстующихся пород» в условиях леса (Кавеев, 1963, стр. 17).

В формировании агрессивности природных вод существенна роль микроорганизмов. В. Комартэн (Caumartin, 1965, 1968) различает три основных типа коррозии, связанных с карбонатацией (насыщением вод углекислотой), нитрификацией и сульфатацией, и все они могут развиваться как без участия микробов, т. е. чисто физико-химически, так и с их участием, т. е. биохимическим путем. Изучение подземной среды и лабораторные опыты позволяют, по мнению Комартэна, четко разграничить

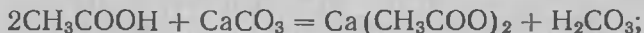
физико-химическую и биохимическую коррозию. А. А. Колодяжная (1970) показала другие стороны участия микроорганизмов в формировании агрессивных свойств природных вод. Наибольший интерес представляет их физиологическая особенность выделять кислоты, которые необходимы для образования питательной среды. Главными факторами формирования агрессивности природных вод в результате микробиологической деятельности являются, по А. А. Колодяжной, различные органические кислоты, углекислый газ и сорбция из раствора катионов кальция и магния.

Наиболее распространенные из карбоновых кислот — щавелевая, постоянно присутствующая в болотных водах, муравьиная, янтарная, лимонная. Все они агрессивны по отношению к карбонатным породам. В условиях взаимодействия органических кислот с карбонатными породами карст развивается за счет перехода в раствор Ca^{++} и Mg^{++} , причем при взаимодействии с некоторыми кислотами происходит удаление перешедших в раствор ионов в осадок. Вследствие этого кальций и магний выносятся потоком воды из карстующихся массивов и горизонтов как в виде ионов, так и в форме труднорастворимых солей во взвешенном состоянии.

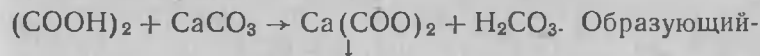
Известно, что органические кислоты вытесняют угольную кислоту из ее солей. Например, муравьиная кислота —



укусная кислота —



щавелевая кислота —



Образующийся в последнем случае оскалат кальция почти нерастворим в воде и выпадает в осадок.

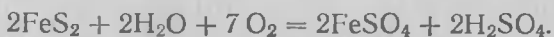
Во всех этих случаях выделяется угольная кислота, которая растворяет дополнительное количество карбонатов, переводя их в бикарбонаты.

Важным фактором, определяющим кислотность почв, являются формирующиеся при биохимических процессах разложения лесного опада и мертвого травяного покрова фульвокислоты (креновая и апокреновая) и гуминовые кислоты. Первые растворяют карбонаты значительно интенсивнее, чем вторые. Вместе с тем гуминовое ве-

щество активно адсорбирует ионы кальция и магния, что в естественных условиях приводит к увеличению растворяющей способности инфильтрационных вод после их проникновения через богатые гумусом почвы в толщу карстующихся карбонатных пород.

Крупными очагами формирования агрессивных компонентов поверхностных и подземных вод являются кристаллические и эффузивные породы, залегающие близко к земной поверхности. Под влиянием растворов, поступающих из этих очагов, происходит интенсивное развитие карста в контактирующих с ними карбонатных породах.

При окислении пирита и других сульфидов образуется свободная серная кислота — энергичный растворитель:



Кроме того, она дает ряд других соединений — $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, CuSO_4 и т. д., которые, взаимодействуя с пиритом или же гидролизуясь ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$), выделяют дополнительное количество серной кислоты.

В результате воздействия серной кислоты на карбонатные породы развивается так называемый рудный карст (Гвоздецкий, 1954, стр. 146—147). Интенсивному выщелачиванию известняка на контакте с породами, содержащими сульфиды, возможно, способствует экзотермический характер реакций, происходящих при окислении сульфидов (из 1 кг FeS_2 выделяется около 3000 ккал — Колодяжная, 1970, стр. 120).

Пирит очень широко распространен в виде мелких вкраплений в карбонатных породах, и роль сернокислых растворов, образующихся при его окислении, выходит далеко за пределы создания лишь полостей типичного «рудного карста». В результате воздействия серной кислоты на известняк ($\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$) на его поверхностях в карстовых полостях образуются кристаллические корочки гипса (рис. 5).

Для развития карбонатного карста некоторых районов известное значение имеют минеральные источники. Повышенную агрессивность минеральных вод по отношению к карбонатным породам создают высокая насыщенность их углекислотой, а также нередкое присутствие NaCl . О количестве вынесенного в растворенном состоянии карбоната кальция свидетельствуют мощные накопления травертинов.

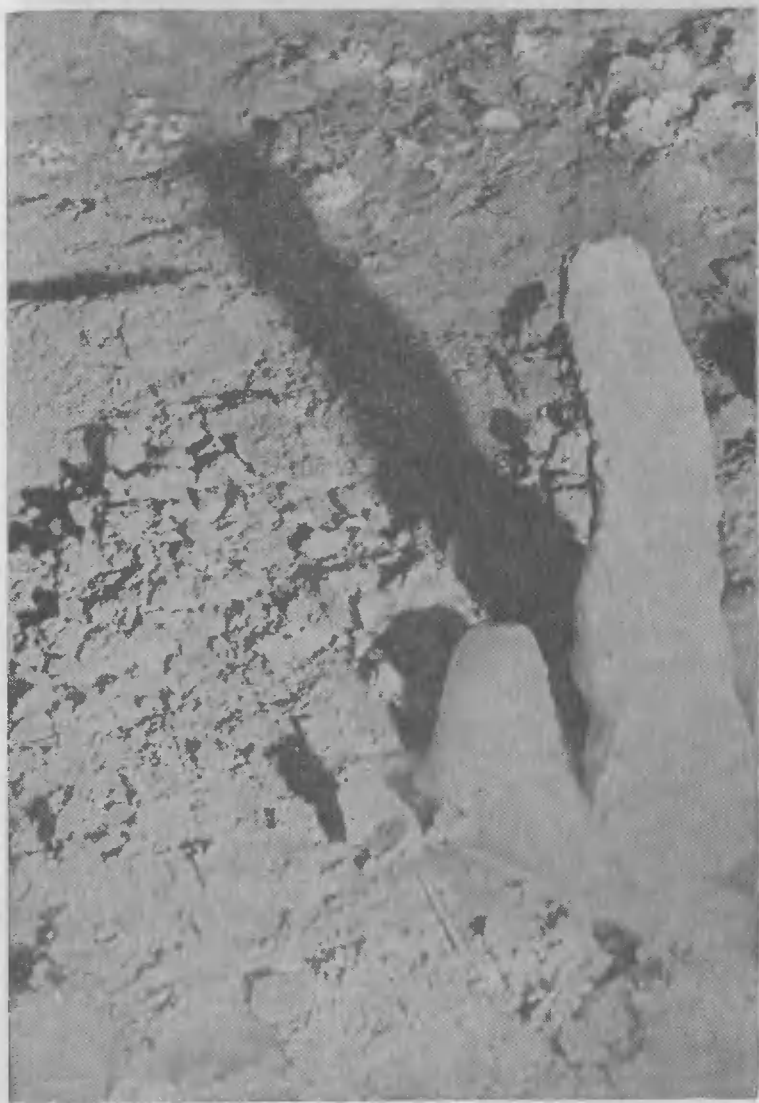


Рис. 5. Гипсовые корочки на полу зала в Анакопийской пропасти близ Нового Афона. Впереди справа — искривленный сталагмит на осыпи.

Фото З. И. Адзінбы

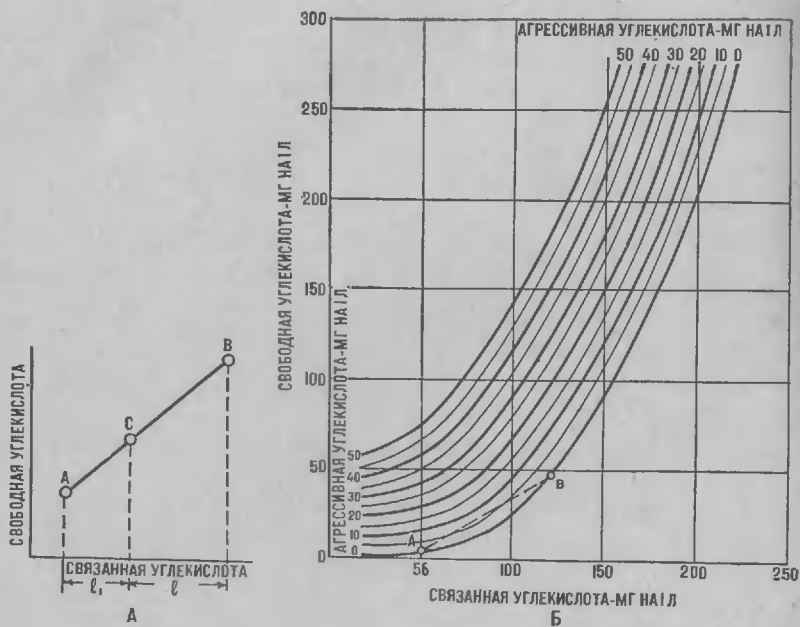


Рис. 6. Чертежи, поясняющие агрессивность смеси двух неагрессивных вод, по Ф. Ф. Лаптеву.

А — соотношения связанной углекислоты и свободной в смесях вод. Б — пояснение агрессивности смеси двух находящихся в равновесии неагрессивных вод на графике для вычисления агрессивной углекислоты.

Коррозия смешивания

Советские исследователи первыми выяснили вопрос об увеличении агрессивности вод, содержащих углекислоту, при их смешивании. Это явление было замечено А. Н. Бунеевым (1932) и подробно описано Ф. Ф. Лаптевым (1939), который указал, что оно имеет важное значение для развития подземных форм карста на больших глубинах и вообще в местах пересечения тектонических трещин, где происходит смешивание вод разного состава. В западноевропейской литературе это явление было освещено лишь в последнем десятилетии. В работах А. Бёгли (Bögli, 1963, 1964 а, б, 1965 и др.), получивших большой резонанс, оно названо коррозией смешивания (Mischungskorrosion).

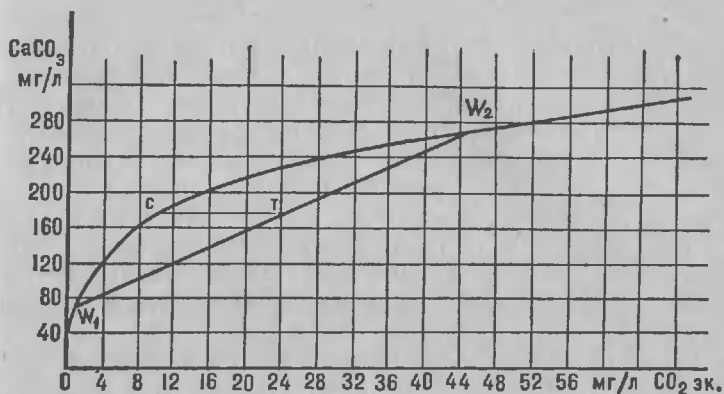


Рис. 7. Чертеж, поясняющий агрессивность смеси двух находящихся в равновесии неагрессивных вод, по А. Бёгли (воспроизведен с упрощением).

Для доказательства того, что при смешивании двух неагрессивных вод, у которых свободная и связанная углекислоты находятся в равновесии, должна образоваться агрессивная вода, А. Бёгли применил графический метод, по существу тождественный методу Ф. Ф. Лаптева (см. рис. 6 и 7). Разница лишь в том, что количество свободной и связанной углекислоты нанесено на разные оси координат (у Бёгли свободная CO_2 — на ось абсцисс, у Лаптева — на ось ординат, а связанная — наоборот). Кроме того, Ф. Ф. Лаптев для определения количества агрессивной углекислоты нанес на график дополнительные линии, идущие симбатно с линией равновесия. По Бёгли же, количество агрессивной углекислоты (свободной углекислоты, находящейся в избытке по отношению к равновесию) определяется отрезком прямой, параллельной оси абсцисс.

Таким образом, Ф. Ф. Лаптев на 25 лет предвосхитил вызвавшее сенсацию у зарубежных карстоведов открытие А. Бёгли. Западноевропейские и американские авторы, писавшие после А. Бёгли о коррозии смешивания, в подавляющем большинстве тоже не ссылаются на Ф. Ф. Лаптева, очевидно не зная его работы и ссылок на нее в советской карстоведческой литературе (см., например, Howard, 1966; Hedges, 1967; Tell, 1968). Д. Балаж (Balázs, 1966) в резюме своей статьи ставит фамилии Лаптева и Бёгли рядом как первооткрывателей явления, что вряд ли правомерно.

А. Д. Говард (Howard, 1966) произвел теоретический расчет на основании известных констант равновесий между компонентами в водном растворе бикарбоната кальция и показал, что полученные им данные соответствуют построениям Бёгли, основанным на опытных данных Тилльманса и Цеендера, Штюмма, Фишера.

Американские карстоведы и спелеологи находят в своих пещерах полости, подобные отмеченным А. Бёгли, как возникающие при коррозии смешивания (Hedges, 1967). Нами подобные формы наблюдались в пещерах Кавказа, о чем будет идти речь в главе VI.

Л. Телл (Tell, 1968) не сомневается в существовании и значении коррозии смешивания. Однако, основываясь на данных исследований, проведенных им в гроте Луммелунда (о. Готланд, Швеция), он считает, что при объяснении подземного выщелачивания в пещерных системах в случае втекания в них вод, уже насыщенных бикарбонатом кальция, нужно учитывать возможность действия и других факторов. Он предлагает обратить особое внимание на изучение состава втекающих в пещерные системы вод, а в целом приходит к заключению о необходимости дальнейших исследований, более обширных и более точных, чем ранее.

А. Бёгли считает, что действие коррозии смешивания проявляется в том случае, когда карстовые полости целиком заполнены водой. В то же время Д. Балаж (Balázs, 1966) наблюдал в пещерах северной Венгрии формы выщелачивания, связанные с современным действием коррозии смешивания, на стенах пещер с ручьями. Особенно сильное действие оказывает смешивание просачивающихся весной в пещеры мягких талых вод с жесткими карстовыми водами. Это очень легко понять, воспользовавшись графиком Ф. Ф. Лаптева (рис. 6). В этом случае точки смешанных вод расположатся на кривой равновесия в большом удалении друг от друга, и поэтому прямая, на которой расположатся точки смешанных вод, пройдет далеко от кривой внутри ее изгиба, показывая высокую агрессивность.

Конденсация

Для карстования на глубине имеет еще значение, по Ф. Тромбу (Trombe, 1952; Гвоздецкий, 1954, стр. 148), внутренняя конденсация, т. е. конденсация влаги внутри

карстовых массивов, в полостях, заполненных воздухом. Если насыщенные углекислотой воды, просачивающиеся с поверхности, контактируя с известняковой толщей, быстро теряют свою агрессивность, то вода, принесенная воздухом и конденсированная на скалистых стенах полости, немедленно вбирает в себя определенное количество углекислого газа из пещерного воздуха. В момент конденсации она совсем не содержит растворенной извести (в виде бикарбоната) и обладает значительной агрессивностью. Растворенная на стенах известь увлекается стекающей вниз водой и либо выносится подземными водами, либо осаждается в пещерных системах и их водоемах в виде разнообразных форм из кристаллического известкового туфа.

Ф. Тромб пишет также о поверхностной конденсации в неглубоких полостях и нишах, также дающей агрессивную воду. Исключительно большое значение, по его мнению, имеет конденсация в странах с сухим климатом, где она играет «главную роль в питании... источников, расположенных в основании известняковых массивов». При гидрологических исследованиях выяснилось, что приток поверхностных вод в карстовые массивы не соответствует годовому расходу воклюзских источников (*Trombe, 1952, стр. 121*).

Нужно сказать, что Ф. Тромб не был первым, кто поднял вопрос о значении конденсационных вод в развитии карста. Судя по реферату В. Ф. Пчелинцева (*Зайцев, 1940*), о сглаживании боковых стен в пещерах конденсированными водами писал В. Бизе (*W. Biese*), опубликовавший в 30-х годах двухтомный труд «О пещерообразовании» (*Ueber Höhlenbildung*). Значение конденсационных вод было подчеркнуто также И. К. Зайцевым (*1940*), который писал, в частности, о скоплении преимущественно конденсационной воды (наряду с талой снеговой) в каррах¹. До опубликования книги Ф. Тромба в некоторых наших пещерах уже определялись величины конденсации влаги.

Количество образующейся в пещерах конденсационной воды изучалось в Горном Крыму. В 1953—1954 гг. Т. И. Устиновой и Л. Г. Резниковой производилось изу-

¹ О конденсации водяных паров «в поверхностных неглубоких трещинах» и влиянии росы на повышение дебита карстовых источников в Горном Крыму писал еще А. А. Крубера (*1913, стр. 276*).

чение конденсации в пяти пещерах Караби-яйлы с установкой термографов и гигрографов для определения абсолютной влажности и температуры воздуха в пещерах и на поверхности. Эти исследования показали, что конденсация в пещерах продолжается с мая по сентябрь, достигая максимума в июне и июле. Общая величина конденсационной влаги в пяти пещерах составила за сезон 13 908 л, или 0,5 л на 1 куб. м пещерной полости (Устинова, 1956, 1963; Глухов, 1965). Т. И. Устинова (1963) отмечает, что полученные результаты показали значительно меньшее, чем предполагалось, количество конденсационной влаги. По расчетам, произведенным И. Г. Глуховым (1965), величина конденсации в тех же пяти пещерах гораздо больше, особенно в холодной (ледяной) пещере Большой Бузлук, конденсирующей влагу интенсивнее, чем остальные пещеры. Общая величина конденсационной влаги в пяти пещерах, по данным И. Г. Глухова, составляет 574 337 л за сезон, а на 1 куб. м пещерной полости, без Большого Бузлука, — 6,2 л. Большое расхождение в полученных величинах И. Г. Глухов объясняет неточным определением Т. И. Устиновой скорости возобновления воздуха в пещерах. В своих расчетах он оперировал удельной конденсацией, учитывающей скорость обмена воздуха. На основании удельной конденсации И. Г. Глухов определил общую конденсацию во всем известняковом массиве Горного Крыма, величина которой оказалась 55 мм/год, что составляет приблизительно 9% от выпадающих здесь осадков.

В докладе В. Н. Дублянского на IV Международном спелеологическом конгрессе приведены величины градиентов вертикального и горизонтального выщелачивания по району Красных пещер в Горном Крыму (Краснопещерному блоку). Они показывают большую роль конденсационных вод в выщелачивании известняков зоны аэрации (Дублянский, 1968).

Определение величины конденсации проводилось также Адлерским стационаром Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР в Воронцовской пещере (Западный Кавказ). Еще в 1951 г. там производил микроклиматические наблюдения Г. Ф. Прихотько (1956), по данным которого в июле в пещере конденсируется около 85 кг воды за сутки. В результате конденсации с потолка пещеры «срываются» отдельные капли и по стенам бегут небольшие ручейки (Прихотько, 1956, стр. 87).

В Воронцовской пещере в 1959—1960 гг. производил наблюдения С. С. Прокофьев (1964). По его расчетным данным, количество конденсирующейся воды в этой пещере в августе 1959 г. составило 80,3 куб. м при среднесуточном значении 2589,3 л. За весь теплый период 1960 г. в Основном ходе пещеры конденсация воды составила 183,9 куб. м. На каждом квадратном метре поверхности сводов и стен Воронцовской пещеры за сутки в среднем конденсируется 0,13 л воды. При указанной выше величине конденсирующейся воды за теплый период года в 183,9 куб. м с поверхности Основного хода должно быть растворено и вынесено за год 15493 г, или 5500 куб. см, известняка. Если допустить, что в прошлом существовали аналогичные условия конденсации, то Основной ход Воронцовской пещеры (объемом 11000 куб. м) мог выработаться за 2 млн. лет при действии одной только конденсационной воды.

Как видим, наблюдения и расчеты для пещер Горного Крыма и Западного Кавказа дают еще очень расходящиеся по величине результаты, но в большинстве случаев они свидетельствуют о существенной роли конденсационной воды в развитии подземных форм карста. Б. А. Гергедава (1970) на основании анализа морфологии пещерных полостей Грузии приходит к выводу о главенствующей роли конденсационных и инфильтрационных вод в разработке карстовых пещер. По его мнению, растворяющее действие капель воды в 8—10 раз превышает растворяюще-эрозионную работу подземных потоков.

Работы по определению величины конденсационной влаги в пещерах проводились также Кунгурским стационаром Уральского филиала АН СССР (Лукин, 1962, 1969). Эти исследования велись главным образом в условиях гипсового карста, хотя в данном случае это не так существенно. Наблюдения над конденсацией паров воздуха, проведенные в августе 1951 г. в Кунгурской ледяной пещере, показали, что за период наблюдений количество конденсационной воды колебалось от 0,7 до 55 кг в час или от 100 до 940 кг в сутки. По приблизительным подсчетам, количество конденсационной воды за весь летний период (с мая по сентябрь) составляет для Кунгурской пещеры более 140 т. Пленка конденсационной воды, покрывающая летом стены подземных полостей, в значительной мере определяет, по В. С. Лукину, разра-

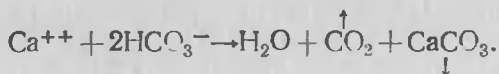
ботку форм, называемых подземными каррами. Несомненно, это относится не только к гипсовым, но и к известняковым пещерам. В известняковом карсте в меньшей мере, чем в гипсовом, но все же проявляется и отмеченная В. С. Лукиным особенно большая роль конденсационных вод на ранних стадиях развития карста. Именно тогда формируются зачаточные каналы, которые служат путями для проникновения с поверхности в глубину атмосферных осадков, так как на ранних стадиях развития карста медленно просачивающиеся атмосферные воды быстро насыщаются растворенным веществом, теряют свою агрессивность и не могут сами расширять трещины. Конденсация влаги играет важную роль в термике карстовых полостей, поскольку она сопровождается выделением большого количества тепла. Так как конденсация определяет степень увлажнения пещерных отложений, от нее зависит также сохранность палеонтологических остатков и предметов доисторической культуры.

Несмотря на значительное количество конденсирующейся в пещерах влаги и ее существенную роль в развитии подземных форм карста, доля конденсации (и испарения) в балансе трещиннокарстовых вод в районе Уфимского плато, по В. С. Лукину, невелика и составляет менее 1%. Значительно выше она, по-видимому, в аридных областях (Гвоздецкий, 1963).

Конденсационные воды играют известную роль на определенной стадии развития пещеры в пещерном карстовом литогенезе, т. е. в формировании натечно-капельных образований (Прихотько, 1956; Максимович, 1965).

Процесс осаждения карбоната кальция

Осаждение извести из водного раствора идет согласно реакции



Стрелка, направленная вверх, указывает на улетучивание свободной CO_2 из раствора, а направленная вниз — на осаждение карбоната кальция. Как только создаются условия для улетучивания CO_2 из раствора, происходит осаждение карбоната. Этот процесс в отличие от образования гипсовых и соляных сталактитов и других натечно-капельных форм, может происходить без

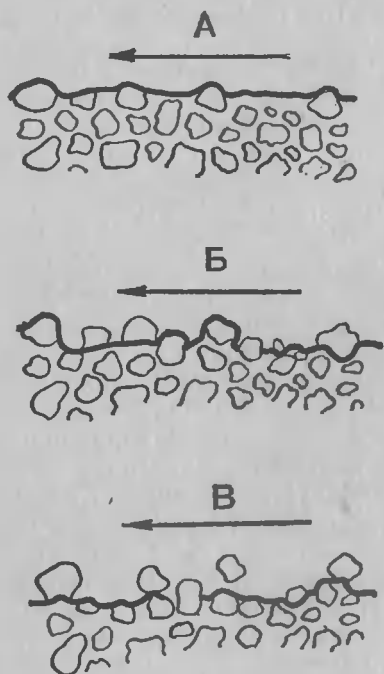
участия испарения (испарение играет роль лишь при образовании так называемых Aussenstalaktiten, по Bögli, 1956). Поэтому досадны до сих пор встречающиеся даже в учебных руководствах утверждения о том, что натечные образования углекислой извести образуются за счет испарения капель с потолка и пола пещеры и что «во влажном воздухе пещеры (с рекой или озером) натечные образования не создаются» (Неклюкова, 1967, стр. 330). Это противоречит многочисленным в природе фактам. Пещеры с подземными реками и озерами, великолепно украшенные кальцитовыми натечно-капельными образованиями, встречаются не в виде редкого исключения, а представляют собой самое обычное явление.

Процесс осаждения в пещерах карбоната кальция нельзя, однако, представлять упрощенно. Он довольно сложен. Выпадение кальцита из водного раствора происходит при определенном парциальном давлении CO_2 , а формы, в которых он аккумулируется на потолке, стенах и дне пещерной полости, зависят от количества воды — интенсивности капежа с потолка, т. е. дебита воды, поступающей из трещин в потолке и из сталактитов, и т. д. (см. гл. VI). Парциальное давление CO_2 и водопритоки инфильтрационных и конденсационных вод в пещерные полости подвержены сезонным изменениям. В эволюции карбонатного литогенеза пещер выделяется ряд стадий, связанных со стадиями развития подземной карстовой сети и пещерных полостей (Максимович, 1965).

Коррозия и эрозия

Для понимания особенностей некоторых поверхностных и подземных форм в карбонатных породах важно представление о взаимосвязанном действии коррозии и эрозии, о подготовке эрозионных процессов коррозионным воздействием на спайки зерен в породе (Гвоздецкий, 1954; Gvozdeckij, 1968). Это представление из карстоведческой литературы проникло и в литературу об эрозионных процессах (Маккавеев, 1955).

При малых скоростях движения воды, особенно при ламинарном движении, когда скорости в пограничном слое равны нулю, механическое воздействие воды не проявляется. Разрушение породы в этом случае происходит



Р и с. 8. Чертеж, поясняющий одновременное и взаимосвязанное действие растворения и размыва на поверхность карбонатной породы (по Н. А. Гвоздецкому).

А, Б, В — три последовательные стадии разрушения породы.

лишь путем растворения. При растворении карбонатной породы бикарбонат уносится водой в растворенном, т. е. диссоциированном на ионы, состоянии. При этом на дневной поверхности, а также на стенах и сводах пещер образуются «ноздреватые» и губчатые формы разрушения породы (в пещерах особого рода подземные карры).

При турбулентном движении воды скорости в пограничном слое быстро возрастают, имея конечные значения на очень близком расстоянии от дна и стенок русла (Великанов, 1948). При этом характере движения и при достаточных скоростях водных потоков в формировании оголенной поверхности из карстующихся пород и в образовании подземных форм карста одновременно участвуют растворение и размыв, т. е. коррозия и эрозия, действуя взаимосвязанно. Чтобы понять механизм этого воздействия, нужно представлять, что растворяющее действие воды проявляется неодинаково на поверхности известняка или доломита, зернистых по своей микроструктуре пород. Обычно растворение действует прежде всего

на спайки зерен, освобождая их от сцепления и облегчая смыл водным потоком (см. рис. 8). Благодаря этому процессу одновременного действия растворения и эрозии образуются гладкие, как бы отшлифованные поверхности.

Проявление эрозии в твердых скалах облегчается подверженностью их растворяющему действию воды, при этом размыв подготавливается растворением.

Соотношение растворимости и скорости растворения кальцита и доломита

Для понимания развития карста в карбонатных породах неоднородного минерального состава — известковистые и известковые доломиты, доломитистые и доломитовые известняки — важно иметь ясное представление о соотношении растворимости доломита и кальцита. Этому вопросу посвящена отдельная глава (X) в монографии Д. С. Соколова (1962). В ней прежде всего отмечается противоречие между мнением большинства авторов, основывающихся на экспериментальных данных, о более высокой растворимости кальцита в сравнении с доломитом, и мнением Н. М. Страхова, считающим, что растворимость доломита должна превышать растворимость кальцита, но что скорости растворения этих соединений находятся в обратных соотношениях. Большая скорость растворения кальцита доказана многочисленными экспериментами П. Н. Бутырина (1935), Ф. Ф. Лаптева (1939), О. К. Янатьевой (1950) и др.¹, правда, все они проводились в условиях углекислых гидрокарбонатных вод.

Д. С. Соколов опровергает доводы Н. М. Страхова в пользу большей растворимости доломита, чем кальцита, но, основываясь на данных экспериментов О. К. Янатьевой, показывает, что соотношение растворимости кальцита и доломита может меняться в зависимости от состава водных растворов и температуры. При увеличении содержания углекислоты (повышении парциального давления CO_2) растворимость кальцита (при $t = 25^\circ$) растет

¹ По Дж. У. Гарбауху, «при прочих равных условиях кальцит растворяется примерно в 24 раза быстрее доломита» (Карбонатные породы, 1970, стр. 327).

Сильнее, чем растворимость доломита, и кальцит становится более растворимым. При повышении температуры растворимость обеих солей падает, но доломита меньше, чем кальцита, и доломит становится более растворимым, чем кальцит (при $p\text{CO}_2 = 1$ атм это происходит выше 55°C). При увеличении в растворе содержания CaSO_4 (при $p\text{CO}_2 \approx 0,0012$ атм и $t\ 25^\circ$) растворимость кальцита резко снижается, а растворимость доломита возрастает.

Для понимания процессов, происходящих в природе, важна отмеченная выше большая скорость растворения кальцита в сравнении с доломитом. Н. В. Родионов (1947) отмечает, что скорость растворения кальцита и доломита зависит от процентного содержания этих минералов в горной породе и что различие в ней создает условия для неравномерного, избирательного выщелачивания. При малом содержании доломита (около 2% и немного более) скорость его растворения больше, чем кальцита, но при возрастании содержания доломита соотношение скоростей становится обратным (Попов, 1959). Поэтому в доломитовых известняках, известковых и известковистых доломитах по мере их выщелачивания накапливаются рыхлые массы медленнее растворяющегося доломита.

Процесс растворения некарбонатных пород

Из некарбонатного карста наиболее распространены в природе гипсовый, гипсово-ангидритовый и соляной литологические типы. Некарбонатные карстующиеся породы и составляющие их минералы — гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ангидрит (CaSO_4) и каменная соль (NaCl) — состоят из сернокислого кальция и хлористого натрия. Обе эти соли, как мы видели (см. табл. 1 на стр. 75), значительно более растворимы в сравнении с кальцитом и доломитом, из которых состоят карбонатные породы, особенно хлористый натрий, растворимость которого на несколько порядков выше растворимости кальцита и доломита. Углекислота почти не оказывает влияния на растворимость сернокислого кальция и хлористого натрия. Обе эти соли могут растворяться в чистой, дистиллированной воде, однако наличие в воде различных солей существенно влияет на их растворимость, а именно наличие в воде растворенной соли, не имеющей общего иона

с твердой фазой, повышает растворимость (Лантев, 1939; Соколов, 1962). А. М. Кузнецов (1947а) своими экспериментами показал, что наличие в воде растворенных NaCl и MgCl_2 может увеличить растворимость сульфата кальция в 3 раза, в то время как присутствие CaCl_2 снижает растворимость. Экспериментальные данные других авторов приведены у Д. С. Соколова (1962).

Благодаря повышенной в сравнении с карбонатными породами растворимости гипса, ангидрита и в особенности каменной соли и других легкорастворимых солей при замедленном водообмене происходит быстрое насыщение воды растворенным веществом, и процесс выщелачивания приостанавливается¹. На этом основываются различные инженерно-строительные мероприятия в районах с гипсовым (гипсово-ангидритовым) и соляным карстом. Интенсивность выщелачивания в гипсовом (гипсово-ангидритовом) и соляном карсте определяется главным образом скоростью отвода растворенного вещества от поверхности твердой фазы, т. е. гидродинамическими условиями.

Гипсовый карст очень часто сочетается с ангидритовым, поскольку эти минералы в природе сопутствуют друг другу на основе генетических связей. Соотношение растворимости гипса и ангидрита изменяется в зависимости от температуры. При температуре ниже 42° , а это полностью соответствует естественным условиям, в которых развивается карст, растворимость ангидрита выше, чем растворимость гипса (Соколов, 1962). Соотношения скоростей растворения, по-видимому, иные. Во всяком случае, по экспериментальным данным А. М. Кузнецова (1947 а, б), при выщелачивании гипса и ангидрита с ненарушенным строением (в условиях комнатной температуры при пропускании воды через искусственную трещину шириной 1 мм со скоростью 0,05 см/сек) гипс поступает в раствор вдвое энергичнее, чем ангидрит (насыщенность раствора не достигнута). Очевидно, что и в природе при совместном залегании гипса и ангидрита в первую очередь должно происходить выщелачивание быстрее растворимого гипса.

¹ А. М. Кузнецов (1947б), пропускавший воду через трещину 1 мм шириной со скоростью 0,05 м/сек (опыт ставился при комнатной температуре), установил, что вода, не содержащая в растворе гипса, насыщалась им через 1,5–2 м пути.

Количественные определения скорости карстовой денудации¹

Применение количественных методов для определения скорости карстовой денудации важно в прогнозных и практических целях, а также для получения представления о возрасте карста по величине скорости денудации.

Первым из отечественных ученых количественное определение скорости карстовой денудации, по-видимому, выполнил А. А. Крубер (1915). Для определения количества растворенной извести, выносимого за год карстовыми источниками, он применил формулу

$$\Theta = n \cdot a \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ г,}$$

где n — дебит источника в л/сек, a — количество граммов извести, растворенной в 1 л воды, принятое Крубером за 0,25. Вставляя $a = 0,25$ и переводя граммы в килограммы, получаем $\Theta = n \cdot 7884 \text{ кг}$. На основании данных о дебите карстовых источников А. А. Крубер подсчитал количество растворенной извести, выносимое за год источниками Тимав на северном берегу Адриатического моря, Аах, в виде которого выходит исчезнувший у Иммедингена Дунай, и Аян в Горном Крыму (плато Чатырдаг), и, приняв среднюю плотность известняка равной 2,6, получил соответствующие приращения объемов пустот в карстующихся толщах. Для источника Аян количество выносимой за год растворенной извести получилось 18 877 500 кг, а «увеличение объема пустот в массиве Чатырдага, обусловленное выносом одного источника Аяна», составило 7260 куб. м. «Так как, кроме источника Аяна, имеется еще целый ряд других источников, то действительное годовое приращение объема пустот в толще Чатырдага значительно больше» (Крубер, 1915, стр. 139).

Данные А. А. Крубера привел в своей монографии И. К. Зайцев и на основании их сделал вывод о том, что «растворение карбонатных пород и образование карстовых пустот в масштабах геологического времени происходит довольно быстро и что это в конце концов может

¹ В основу текста этого раздела положена статья «Применение количественных методов для определения скорости карстовой денудации», опубликованная в «Вестнике МГУ», сер. V, геогр., 1970, № 1. Текст указанной статьи воспроизводится здесь со значительными дополнениями.

приводить к полному уничтожению громадных известняковых массивов» (Зайцев, 1940, стр. 13).

О попытке определения возраста отдельных карстовых форм (воронок) на основе количественного определения скорости карстовой денудации было доложено в 1947 г. на карстовой конференции в г. Перми (Борисова, 1947). Эта попытка была основана на формуле скорости разрушения породы под действием воды, предложенной Ф. Ф. Лаптевым (1939).

По Н. В. Родионову (1949), скорость карстового процесса может быть выражена отношением объема растворенной породы (v), выносимой за определенный отрезок времени подземными водами из карстующихся пород какого-либо района, к общему объему карстующихся пород (V) этого района. Отношение $A = \frac{v}{V} \cdot 100$, выраженное

в процентах к общему объему карстующихся пород, называется показателем активности карстового процесса. Объем выносимой подземными водами из карстового массива породы определяется по среднему химическому составу вод источников. Его величина отражает суммарный результат условий, влияющих на интенсивность карстового процесса: состав пород, их мощность, количество и агрессивность подземных вод, скорость их передвижения. При этом последние факторы находятся в тесной связи с климатом.

Пользуясь этим методом, Н. В. Родионов произвел приблизительные расчеты для Горного Крыма в целом (показатель активности карстового процесса за тысячелетие 0,08%), для плато Чатырдаг в Крыму (0,15—0,20%), для Сочинского района Черноморского побережья Кавказа (0,5%, т. е. выше чем в 5 раз больше, чем для Горного Крыма). Для одного из полупустынных карстовых районов Средней Азии он приводит величину 0,0001%. Н. В. Родионов (1962) вычислил также показатель активности карстового процесса для одного из участков мелового карста ЦЧО (0,27% за тысячелетие). Приведенные показатели Н. В. Родионов повторил в другой работе (Родионов, 1958) и дополнил их данными расчета Г. Г. Скворцова по гипсовому карсту Башкирии (показатель активности 1,67% за тысячелетие).

Все эти данные помещены у Г. А. Максимовича (1963), где они дополнены по опубликованным к тому времени работам К. А. Горбуновой для карбонатного

карста Уфимского вала (0,016% за тысячелетие) и гипсового карста Кишертско-Суксунского района Пермской области (0,8%). Позднее К. А. Горбунова (1965) несколько уточнила полученные значения, указав соответственно величины 0,02% и 0,9 (1,4)%. По данным Е. А. Кротовой (1970), для карстовых районов Пермской области показатель активности карбонатного карста составляет чаще всего 0,021—0,024% за тысячелетие (максимальное значение 0,044%), гипсового карста — 0,50—0,93%, соляного — 0,50—2,3 (1,3)%. Г. В. Короткевич (1967, 1970) для соляного купола Ходжа-Мумын (в Таджикской депрессии) получил значительно большую величину — 4,3%, считая, что эта величина является относительно небольшой, поскольку район горы Ходжа-Мумын имеет аридный климат с малым количеством осадков.

Для карбонатного карста массива Арабика на южном склоне западной половины Большого Кавказа Т. З. Кикнадзе (1971) получил следующие величины показателя активности карста: средняя по массиву — 0,006%, для среднегорья — в пределах 0,0041—0,0068 и для высокогорья — 0,01% за тысячелетие. Эти данные плохо увязываются с данными Н. В. Родионова по Черноморскому побережью Кавказа и с представлением о более энергичном карстовании в условиях влажного субтропического климата в сравнении с высокогорным (см. ниже, а также раздел «Особенности развития карбонатного карста во влажных тропиках» главы IV).

Французский исследователь карста Ж. Корбель (Corbel, 1959 а, б) предложил скорость денудации в известняках исчислять по формуле $X = \frac{4ET}{100}$, где E — высота слоя стекающей воды в дм, T — содержание CaCO_3 в мг/л, а X — величина денудации, выражающаяся в куб. м/год. кв. км, что соответствует толщине слоя снеженного вещества в мм за тысячелетие.

Коэффициент $\frac{4}{100}$ необходим для пересчета весовых единиц, в которых выражено T , в объемные через величину удельного веса CaCO_3 (2,5) и для согласования всех остальных (метрических) единиц измерения.

Если известняки занимают не весь бассейн, а только часть бассейна — $\frac{1}{n}$, то значение X будет равно:

$$X = \frac{4ETn}{100}.$$

Величина подземной денудации $X' = \frac{4ET'n}{100}$, где E' — высота слоя воды, стекающей под землей, T' — содержание CaCO_3 в подземных водах.

Метод расчета величины скорости денудации известняков, предложенный Ж. Корбелем, отличается от метода Н. В. Родионова во-первых тем, что количество вынесенного вещества за определенный срок выражается не в процентном отношении объема вынесенной породы ко всему объему карстующегося массива, а в кубических метрах на квадратный километр или в миллиметрах толщины денудированного слоя, т.е. в абсолютных величинах, обладающих определенной размерностью, что дает не только вполне сравнимые, как в первом случае, но и более наглядные результаты. Наряду с этим в формулу Корбеля входит величина E , непосредственно связанная с климатическими условиями (с балансом влаги), хотя в ней, как и в формуле Родионова, присутствует также величина T , суммарно отражающая целый ряд факторов, влияющих на интенсивность растворения известняка.

Другое отличие метода Ж. Корбеля от метода Н. В. Родионова заключается в том, что по методу Ж. Корбеля удается рассчитать не только подземную, но и поверхностную денудацию известняков, что представляет несомненное преимущество его метода, поскольку в голом карсте поверхностное растворение имеет весьма существенное значение. Его можно было бы учесть и по формуле Родионова, если бы величину v исчислять по среднему химическому составу не только источников, но и поверхностных водотоков, как постоянных, так и временных, например вод, стекающих с карровой поверхности.

Ж. Корбель (Corbel, 1959 а) дает следующие числа средней скорости денудации («эрозии») известняков в куб м/год, кв. км, или мм/тысячелетие.

Горные области, получающие от 2000 до 4000 мм атмосферных осадков:

Области холодные (Свартисен, Британская Колумбия)	450
Области жаркие (Рио Усумацинта)	45

Области низких холмов, получающие от 1000 до 1600 мм:

Области холодные (провинции Квебек, восток Шотландии)	160
Области жаркие (Рио Шампотон)	16

Области равнин, получающие от 300 до 500 мм:

Области холодные (внутренняя Лапландия, внутренняя Аляска) 40
Области жаркие (Шелиф) 4

Области равнин, получающие менее 200 мм:

Области холодные (нижняя Маккензи) 11
Области жаркие (Рио Гранде в Сан Акачиа) 1,4

Заметим, однако, что данные Ж. Корбеля о значительно больших скоростях карстовой денудации известняков в холодных областях по сравнению с жаркими противоречат приведенному выше положению о возрастании скорости реакции растворения известняка при переходе от холодного климата к жаркому (четырёхкратном, по А. Бёгли). Они противоречат также приведенным ниже (см. раздел «Особенности развития карбонатного карста во влажных тропиках» главы IV) данным о значительно более высоком содержании растворенной извести в карровых водах Кубы в сравнении с Альпами, а также данным советских исследователей о высокой степени агрессивности вод в тропиках и субтропиках Китая (Д. С. Соколов), в относительно влажных горных областях Крыма и Кавказа, частично субтропических (*Колодязная, 1970*) и исключительной интенсивности закарстованности в наиболее влажных и сравнительно теплых районах этих областей (Накеральское плато — Гвоздецкий, 1965). Если показанная Ж. Корбелем закономерность возрастания скорости карстовой денудации с увеличением количества осадков несомненна, то ее зависимость от температурных условий климатических областей требует проверки и дополнительных исследований.

В приведенной работе Корбеля для влажных тропиков указаны величины карстовой денудации от 5,5 до 16 куб. м/год. кв. км на равнинах и до 45 куб. м/год. кв. км в горах. В другой работе Ж. Корбель (Corbel, 1957) приводит приблизительно такие же данные для Явы (10—20), бассейнов Конго (15) и Амазонки (10). Однако Д. Балаж (Balázs, 1968) для Индонезии приводит значительно большие величины: центральная Суматра — 63, западная Ява — 99, центральная Ява — 86, юго-западный Сулавеси — 83, в среднем — 83 куб. м/год. кв. км, или мм/тысячелетие (в оригиналах указанных работ Корбеля и Балажа данные приведены в мм за год). Д. И. Смит (Smith, 1969), воспользовавшись близкой к формуле Ж. Корбеля формулой П. Уильямса (Williams,

1963), в которой взамен величины T Корбеля суммировано содержание в естественных водах CaCO_3 и MgCO_3 ($T_c + T_m$), получил величины скорости карстовой денудации для тропического карста Ямайки 96 и 86 мм за 1000 лет. Как видим, результаты его расчетов хорошо согласуются с данными Д. Балажа по Индонезии и сильно расходятся с величинами, приведенными для влажных тропиков Ж. Корбелем.

По методу Ж. Корбеля и ему подобным (отличающимся способом получения исходных данных для расчета и введением некоторых поправок) выполнены определения скорости химической денудации карбонатных пород в Моравском Карсте Чехословакии (Corbel, Stchouzko, Frank, Muxart, 1965), в ряде районов Англии (Sweeting, Groom and others, 1965; Sweeting, 1966) и в Югославии (Gams, 1966).

Под нашим руководством были выполнены по методу Ж. Корбеля подсчеты скорости денудации известняков для ряда карстовых районов Северо-Западного Кавказа и приенисейской части Восточного Саяна (Костин, 1966, 1967; Беляк, 1967). Вычисленная величина общей карстовой денудации составляет для известняков бассейна Кяфара 250,2 куб. м/год. кв. км, или столько же мм за тысячелетие, для бассейна Курджипса — 205,2 куб. м/год. кв. км, или мм за тысячелетие. Среднее значение общей карстовой денудации для Пастбищного хребта Северо-Западного Кавказа составляет 50,2 куб. м/год. кв. км, для Скалистого хребта — 99,7 куб. м/год. кв. км и для Передового хребта — 220,6 куб. м/год. кв. км, или мм за тысячелетие. С повышением местности на 1000 м оно увеличивается примерно в 2 раза (главным образом из-за увеличения количества осадков и величины стока). В континентальных условиях гор Южной Сибири величина общей карстовой денудации меньше, для Солгонского кряжа она составляет 36 куб. м/год. кв. км, или мм за тысячелетие.

Для районов гор Восточной Сибири приблизительно такие же величины получил польский исследователь М. Пулина (Pulina, 1968 а, б). По его расчетам, для Тушкинских Альп величина карстовой денудации в карбонатных породах составляет 32,3, а в карбонатных и сульфатных породах — 40,1 куб. м/год. кв. км. Для западного Хамар-Дабана эта величина в карбонатных и сульфатных породах составляет 43,8 куб. м/год. кв. км.

В платформенных условиях Восточной Сибири величины значительно меньше: от 1,1 (долина Унги) до 4,6 (долина Осы) и 5,8 (дол. Белой) в карбонатных породах и от 6,5 (дол. Белой) и 6,7 (долина Унги) до 15,9 (долина Осы) в карбонатных и сульфатных породах. С учетом выноса из закарстованных районов всех солей, а не только карбонатов и сульфатов величины получились большими: от 8,1 на платформе в районах без притока транзитных вод (долина Унги) до 61,4 в горах (западный Хамар-Дабан).

М. Пулина получил также величины скорости карстовой денудации для Западного Закавказья (Pulina, 1966). Они вполне сопоставимы с приведенными выше данными по Северо-Западному Кавказу, но, по-видимому, более точны (есть основание считать, что данные П. А. Костина завышены). Для подземных вод высокогорной зоны массива Арабика М. Пулина приводит величину карстовой денудации 137,7 куб. м/год. кв. км, для подземных и поверхностных вод причерноморской зоны того же массива — 74,7 куб. м/год. кв. км¹. Для долины Западного Закавказья в тех же единицах измерения М. Пулина привел следующие числа: Хошупсе — 82,1; Жовеквара — 98,6 (в обоих случаях подземные и поверхностные воды); Бзыбь — 145,4; Гега — 100,9 (в двух последних случаях подземные воды).

Отталкиваясь от изложенного выше метода Ж. Корбея, М. Пулина несколько изменил формулу для расчета:

$$D = 12,6 \frac{T \cdot Q}{P}$$

$$\text{или } D = 0,0126 T \cdot v,$$

где $v = \frac{Q}{P} \cdot 1000$, D — химическая денудация в куб. м/год. кв. км, или мм за 1000 лет, T — содержание растворенных солей в мг/л, Q — сток в куб. м/сек, v — модуль стока в л/сек/кв. км, P — площадь бассейна в кв. км.

Коэффициент 12,6 учитывает удельный вес CaCO_3 (2,5) для перевода весовых единиц (T в мг/л) в объемные (как и $\frac{4}{100}$ в формуле Корбея), а кроме того, число

¹ Т. З. Кикидзе (1965) для массива Арабика приводит среднюю величину химической денудации 95 куб. м/год. кв. км.

секунд в году для перерасчета стока (порядок его величины в обеих формулах зависит от использованных метрических единиц измерения).

В подсчетах величины карстовой денудации М. Пулине приходилось делать прикидки на поступление в карстовые районы транзитных вод, а также на содержание солей атмосферного происхождения в выпадающих атмосферных осадках¹, которое составляет от 2 (Тункинские Альпы) до 5—10% (Хамар-Дабан) и 5—20% (Сибирская платформа) величины карстовой денудации и должно быть принято во внимание, чтобы результаты вычислений не оказались завышенными. В связи с этим в самое последнее время М. Пулина несколько видоизменил свои формулы, поставив вместо $T \Delta T$, обозначающее не минерализацию воды, а приращение минерализации:

$$D = 12,6 \frac{\Delta T \cdot Q}{P}$$

$$\text{или } D = 0,0126 \cdot \Delta T \cdot v,$$

где $\Delta T = T_1 - T_A$, T_1 — минерализация карстовых вод, T_A — минерализация атмосферных осадков плюс принесенная транзитным стоком (в замкнутом бассейне главным образом первая). Остальные обозначения те же, что и в рассмотренных выше формулах М. Пулины.

В таком виде М. Пулина представил свои формулы в докладе «Химическая денудация в холодных климатах», прочитанном в октябре 1969 г. в г. Кракове на симпозиуме по проблемам развития карстового рельефа южной Польши, созванном отделом геоморфологии и гидрографии гор и возвышенностей Института географии Польской академии наук². В этом докладе он также представил данные о величине скорости карстовой денудации в карстовых районах Сибири.

В исследовании Н. М. Еременко (1971) по карсту восточной половины северного склона Большого Кавказа сделана попытка определения скорости карстовой денудации одновременно по методам Ж. Корбея и М. Пулины. Расчеты по методу М. Пулины Н. М. Еременко

¹ Данные о содержании солей в атмосферных осадках имеются в советской литературе (см., например, Колодяжная, 1963, 1967, 1970; Каштанов, 1968).

² См. «Вестник МГУ», геогр., 1970, № 3.

считает более надежными, особенно при пониженной карбонатности горных пород, так как этот метод основан на общей минерализации вод. Для разных районов указанной территории он получил величины по методу М. Пулины от 13 (на юго-востоке Дагестана) до 199,5 куб. м/год. кв. км, или мм за тысячелетие (в бассейне р. Аксай на Андийском хребте), а по методу Ж. Корбеля — соответственно от 4,6 до 127,4 куб. м/год. кв. км (в тех же пунктах).

Т. З. Кикнадзе (1971) для массива Арабика также рассчитал карстовую денудацию по методам Ж. Корбеля и М. Пулины и получил примерно такую же разницу в результатах расчетов с использованием этих методов (по отдельным гидрогеологическим и водосборным бассейнам от 130,6 до 309,6 куб. м/год. кв. км по методу Корбеля и от 153,0 до 354,6 куб. м/год. кв. км по методу М. Пулины). Эти значения выше полученных Н. М. Еременко, что вполне понятно, так как южный склон западной половины Большого Кавказа получает больше осадков в сравнении с северным, особенно с его восточной частью. Данные Т. З. Кикнадзе о большей величине карстовой денудации в высокогорной зоне в сравнении с Черноморской нуждаются в проверке.

Е. А. Кротовой (1970) для карстовых районов Пермской области по методу М. Пулины рассчитана величина подземной химической денудации. В районах карбонатного карста она колеблется от 9,6 до 17,5 куб. м/год. кв. км, в районах гипсового карста — от 75,2 до 148,9, в районах соляного карста — от 180,8 до 1207,6 куб. м/год. кв. км. Общая химическая денудация подсчитана Е. А. Кротовой по методу Ж. Корбеля. Для районов карбонатного карста она составляет 30,3—43,2 куб. м/год. кв. км, для гипсового карста — 174,0—303,5, для соляного — 283,1—1361,3 куб. м/год. кв. км.

Выполнение расчетов по формулам как Ж. Корбеля, так и М. Пулины осложняется довольно частым в карстовых районах несовпадением топографических и подземных водоразделов, на что обратил внимание и М. Пулина в монографии о карсте Восточной Сибири (Пулина, 1968 а). Из-за этого бывает трудно определить действительные границы и площадь бассейна, с которого осуществляются сток и вынос продуктов химической денудации.

Яркий пример несовпадения подземного водораздела

с топографическим дала экскурсия в известняковые карстовые районы Западных Татр (Польша), проведенная во время упомянутого Краковского симпозиума. Карстовый источник Ледяной (Ледове Жрудло) в правом борту Косьцелинской долины гидрографически связан, как установили польские исследователи, с пещерой-пропастью Снежна (самая глубокая в Польше, 780 м), которая находится в верховье долины Мала Лонка на массиве Червоне Верхи. На своем подземном пути вода проходит сквозь два горных хребта, казалось бы, служащих четкими границами поверхностных речных бассейнов (хребты между долинами Мала Лонка, Ментуся и Косьцелинская).

Такую подземную гидрографическую связь между соседними речными бассейнами необходимо учитывать при расчетах и вести их в таких случаях для групп речных бассейнов, имеющих между собой подобную гидрографическую связь.

Г. А. Максимович (1963, 1969) предложил величину химической, или карстовой, денудации, отнесенную ко времени, т. е. по существу ее скорость, выражать в микронах в год, что соответствует мм за тысячелетие, или куб. м/год. кв. км.

Г. А. Максимович и В. А. Балков (1963) разработали метод характеристики интенсивности карстообразования величиной подземного химического стока, приходящегося на единицу закарстованной площади бассейна, причем подземный сток они предложили рассчитывать по зимним замерам, когда реки находятся на устойчивом подземном питании. Модуль подземного химического стока выражается в г/сек. с 1 кв. км. В особой модификации этот метод применял П. И. Яковенко (1968, 1970).

Представляют интерес некоторые стационарные и экспериментальные исследования по определению скорости карстовой денудации. Например, А. С. Девдариани (1963) для проведения стационарных наблюдений за интенсивностью карстообразования предложил метод повторных замеров свободного конца стержней и глубины шпуров.

Среди экспериментальных исследований последнего времени выделяется работа Е. М. Абашидзе (1967), содержащая данные о растворении стенок трещин в глауконитовых известняках Шаорского водохранилища (западная Грузия) и прогноз ожидаемого раскрытия тре-

щин за определенный промежуток времени. Выяснилось, что тонкие, «волосные» трещины шириной 0,1—0,25 мм за 25 лет непрерывной фильтрации в зависимости от скорости движения воды могут расшириться до 5—23 мм (т. е. до 2 см с лишним), что без особых защитных мер может представить опасность в отношении утечки воды из водохранилища. Скорость расширения трещин в этом случае составляет от 0,2 почти до 1 мм/год.

Н. В. Родионов ранее приводил экспериментальные данные разных исследователей о скорости роста трещин и денудации закарстованных поверхностей в карбонатных породах: по Ф. Ф. Лаптеву — 0,34 мм/год, по А. И. Москвитину — 2 мм/год, по Фринку — 0,5 мм/год, по Н. В. Родионову в известковых доломитах — ок. 3,5 мм/год. Из приведенных данных Н. В. Родионов сделал вывод о том, что со скоростью развития карста «нельзя не считаться особенно в вопросах строительства гидротехнических сооружений» (Родионов, 1958, стр. 60). Хотя некоторые из приведенных Н. В. Родионовым данных могут быть завышены, но в общем они подтверждаются новым экспериментом Е. М. Абашидзе. Между тем в практике гидротехнического строительства обычно исходили из того, что развитие карбонатного карста происходит крайне медленно и опасность для фильтрации могут представлять лишь уже существующие карстовые каналы и трещины, в том числе закольматированные (Якушова, 1948). Приведенные экспериментальные данные показывают, что иногда приходится считаться и с возможностью расширения трещин за срок действия сооружения. Вопрос этот чрезвычайно важен для практики и требует выяснения путем постановки экспериментальных исследований в других районах карбонатного карста, которые должны показать, насколько часто могут встречаться случаи практически значимой интенсивности развития карбонатного карста. Что же касается сульфатного и соляного карста, то приведенные выше приближенные расчетные величины достаточны для того, чтобы убедиться в большой, практически вполне ощутимой и значимой интенсивности процессов, связанных с выщелачиванием гипса, ангидрита и каменной соли.

Влияние геологических, географических условий и отдельных компонентов географической среды на развитие карста

Карстующиеся горные породы и некоторые особенности развития карста в разных литологических условиях

1. Карбонатные породы

Известняки. Известняки — горные породы, состоящие в основном из карбоната кальция, который обычно представлен минералом кальцитом, в очень редких случаях арагонитом.

Известняки можно считать основными карстующимися породами прежде всего по их широкому распространению, а также и по выраженности в них карстовых явлений. В истории мирового карстоведения были случаи, когда авторитетнейшие исследователи ставили известняки как карстующиеся горные породы в особое положение. Э. А. Мартель (Martel, 1894, 1902, 1921) предложил называть карстовые явления «явлениями в известняках», и с этим предложением согласился А. А. Крубер (1915). Э. Мартонн, как бы развивая взгляд Э. А. Мартеля, назвал главу о карсте в своем курсе физической географии (1945) «Известняковый рельеф», а о гипсе и соли писал как о «частных случаях растворимых горных пород» (там же, стр. 181—184). И. Цвийич (Cvijić, 1925, 1960) только с чистыми известняками связывал выделенный им тип холокарста, т. е. полного карста, а гипсовый карст, считая его, очевидно, лишь напоминающим известняковый, квалифицировал как «псевдокарст». Разумеется, мы не можем согласиться с такой трактовкой И. Цвийичем гипсового карста, а в отношении предложе-

ния Э. А. Мартеля уже высказали критические замечания (Гвоздецкий, 1950, 1953, 1954) ¹.

Сейчас, когда стало известно, что четыре крупнейшие по суммарной длине пещеры СССР (в Приднестровской Подолии) являются гипсовыми, а одна из них (Оптимистическая) превышает 75 км, наша аргументация могла бы быть значительно усилена. Но тем не менее такое предпочтение известнякам перед другими породами, подвергающимися водному выщелачиванию, не является случайностью. Действительно, карстовые явления в известняках развиты исключительно широко и нередко выражены с большой полнотой и даже эффективностью. Это не дает, конечно, оснований отодвигать на задний план все другие карстующиеся породы.

Происхождение известняков разнообразно (Вишняков, 1957; Швецов, 1958; Карбонатные породы, 1970). Они могут быть морскими и солоноватоводными, пресноводными и наземными, в этих разных случаях — органогенными (зоогенными и фитогенными), хемогенными, представлять собой продукты жизнедеятельности бактерий и распада органического вещества, являться обломочными породами и т. д. Среди различных генетических групп известняков выделяется несколько подгрупп и разновидностей. Так, например, среди органогенных известняков различают биогермные, цельнораковинные (биоморфные), органогенно-обломочные (детритовые), копрогенные; среди химических протогенных, т. е. выпавших из растворов, — туфовые, корковые, натечные, оолитовые, пизолитовые и др., причем образование некоторых из названных разновидностей может быть связано также и с карстовым литогенезом.

Карбонатонакопление вообще, в том числе и образование известняковых осадков, «локализуется исключительно в климатах теплых, с повышенной температурой» (Страхов, 1951, стр. 274). Сведения и выводы об условиях образования известняков можно обобщить следующими основными положениями. 1. Кальцит осаждается и биогенным и химическим путями. Первый способ преобладает сейчас и, по-видимому, преобладал уже с палеозоя. 2. Осаждению кальцита благоприятствует теплая

¹ Ранее к предложению Э. А. Мартеля критически отнесся А. Д. Нацкий (1916).

вода и, следовательно, мелководье. 3. Биогенному осаждению не способствует засушливый климат, в нем создаются благоприятные условия для химического осаждения кальцита. 4. Даже интенсивное осаждение кальцита не всегда обеспечивает образование известкового осадка и известняков. выпадающий карбонат не должен разбавляться приносимым в бассейн песчано-глинистым материалом. Такие условия обычно создаются «по мере удаления от берега, где скорость выпадения CaCO_3 резко сокращается, а хемогенного прекращается», но «процент карбонатности осадков часто возрастает, так как принос песчано-глинистого материала сокращается еще быстрее... и могут отлагаться, медленно накапливаясь, органические известковые илы» (Швецов, 1958, стр. 290). Н. М. Страхов (1951) подчеркивает, что принос с берега обломочного материала или его отсутствие и возможность накопления высококарбонатных осадков определяются тектоническим режимом. Благоприятно расположение водоемов в тектонически спокойных районах с плоским, слабо эродируемым рельефом.

Разные генетические группы, подгруппы и разновидности известняков различаются по характеру залегания, структуре, крепости, слоистости и другим текстурным особенностям, отсутствием или наличием первичной пористости, обуславливающими водоупорность и водопроницаемость породы, и прочим свойствам, существенным для развития в них карстовых процессов. К сожалению, указания на различия карстовых явлений, связанные с разными генетическими группами, подгруппами и разновидностями известняков, если не единичны, то во всяком случае разрозненны и до сих пор не обобщены, а это могло бы составить тему важного и интересного карстоведческого исследования. Например, по Г. Верстаппену (Verstappen, 1964), в горах Стар на Новой Гвинее на высоте от 2000 до 4000 м в коралловых известняках развит останцовый тропический карст, в то время как карстовые явления в плотных фораминиферовых известняках напоминают карст умеренных широт. Неогеновые известняки-ракушечники юга Русской платформы и других территорий, отличаясь малой прочностью цемента, легко разрушаются при выщелачивании, что ведет к ускорению развития в них карста и должно учитываться при инженерно-геологических изысканиях (Попов, 1967).

Схема подразделения карбонатных пород по структуре
(размеру и форме составных частей) и происхождению

Размер составных частей в мм	Тип				
	Органогенный		Кристаллический (кристаллически-зерни- стый)	Обломочный	Центрический
	цельнораковинный (биоморфный): а) биогермный б) тафогермный	органогенно-обломочный (детритовый): а) с окатан- ными обломками, б) с не- окатанными обломками			
> 10	Грубораковинная	Грубоорганогенно-об- ломочная (грубодет- ритовая)	Грубокристаллическая (грубозернистая)	Грубообломочная (псефитоморфная). Известняковые и до- ломитовые конгло- мераты и брекчии	Конкреционная (псев- доконгломераты)
10—1				Грубообломочная. Из- вестняковые и доло- митовые гравелиты	Пизолитовая, грубо- сферолитовая, гру- бобобовая
1— 0,5	Крупнораковинная	Крупноорганогенно- обломочная (круп- нодетритовая)	Крупнокристалличе- ская (крупнозерни- стая)	Крупнообломочная. Известняковые и до- ломитовые песчани- ки.	Крупносферолитовая, крупнооолитовая, крупнобобовая
0,5— 0,25	Среднераковинная	Среднеорганогенно- обломочная (средне- детритовая)	Среднекристалличе- ская (среднезерни- стая)	Среднеобломочная. Известняковые и до- ломитовые песчани- ки	Среднесферолитовая, среднеоолитовая, среднебобовая

0,25— 0,1	Мелкораковинная	Мелкоорганогенно- обломочная (мелко- детритовая)	Мелкокристалличе- ская (мелкозерни- стая)	Мелкообломочная. Из- вестняковые и до- ломитовые песчани- ки	Мелкосферолитовая, мелкооолитовая, мелкобобовая
0,1— 0,01		Тонкоорганогенно- обломочная (тонко- детритовая)	Тонкокристалличе- ская (тонкозерни- стая), алеврито- морфная	Тонкообломочная. Из- вестняковые и доло- митовые алевролиты	Тонкосферолитовая, тонкооолитовая, тонкобобовая
<0,01	Микрораковинная (кокколитофоровые, фораминиферовые и др. известняки)	Микроорганогенно- обломочная (микро- детритовая)	Микрокристалличе- ская (микрозерни- стая), пелитоморф- ная и сгустково- пелитоморфная	Микрообломочная, пе- литоморфная	Микросферолитовая, микрооолитовая, микробобовая

Разнообразие условий и способов образования известняков вызывает сложные закономерности их пространственного распределения, а отсюда и распространения известнякового карста. Особенно существенны для карстования мощность и однородность известняковых толщ, которые связаны с тектонической обстановкой их образования (Максимович, 1963).

В зависимости от способов и условий образования известняки разнообразны по своим структурным и текстурным особенностям. В таблице № 2 дана классификация карбонатных пород С. Г. Вишнякова (1957) по размеру основных составных частей как наиболее важному структурному признаку¹.

По относительному размеру и количественному соотношению составных частей различают карбонатные породы: 1) равномерно-зернистые и равномерно-детритовые, 2) неравномерно-зернистые и неравномерно-детритовые, 3) структурно-однокомпонентные (например, микрозернистые, коралловые), 4) структурно-двух- и многокомпонентные — а) с преобладанием цементируемого материала, б) с преобладанием цементного материала, в) с равным количеством цемента и цементируемого материала (Вишняков, 1957).

При лабораторном экспериментальном исследовании растворимости нижнекембрийских карбонатных пород Приангарья Ф. Ф. Лаптев установил, что наиболее растворимы среднезернистые и в особенности неравномерно-зернистые (разнозернистые) породы и значительно труднее растворимы микрозернистые и крупнокристаллические карбонатные породы. Известно, однако, что растворимость мелких кристаллов выше, чем крупных, и плохую растворимость мелкокристаллических пород, вероятно, следует связывать с их малой пористостью. Что же касается крупнокристаллических (крупнозернистых) пород, то в природных условиях нужно ожидать большего эффекта их карстования в тех случаях, когда карстовые воды движутся турбулентно и скорость их движения достаточна для эрозионного воздействия на стенку трещины или канала. В этих случаях эффект карстования должен повышаться за счет одновременного действия растворения и размыва (см. гл. III).

¹ Эта таблица служит иллюстрацией и к последующему разделу — о доломитах.

Из текстурных признаков известняков (также и доломитов) важна их слоистость. Различают породы неслоистые, неяснослоистые, грубослоистые (с толщиной пластов от 20 до 100 см), толстослоистые (10—20 см), среднеслоистые (5—10 см), тонкослоистые (0,1—5 см), микрослоистые (менее 0,1 см), ложнослоистые (вторичнослоистые), косослоистые. Слоистость даже в одной известняковой толще может быть разных родов.

Неодинаковый состав и структура пород в разных слоях способствуют неравномерному и избирательному выщелачиванию, что отражается на морфологии карстовых полостей и поверхностных форм. Велика роль слоистости в образовании трещиноватости породы — трещин наслоения, служащих водопроводящими путями.

Большое значение для развития карста имеет пористость, дающая возможность воде проникнуть внутрь блоков пород, заключенных между трещинами, и даже просочиться сквозь нетрещиноватые толщи. Пористость сильно увеличивает поверхность соприкосновения воды с породой, что способствует «разъеданию» и разрушению породы путем выщелачивания. Поры могут быть первичными и вторичными. Формированию пористости и кавернозности (как первичной, так и вторичной), а следовательно и поровой водопроницаемости карстующихся пород большое внимание уделил Д. С. Соколов (1962). По размеру пустот выделяют микропористые, макропористые и кавернозные (поздреватые, пещеристые, губчатые) карбонатные породы (Вишняков, 1957).

В процессе карстования исключительную роль играет химический состав известняков. Теоретически химический состав кальцита и известняка следующий: CaO — 56%, CO_2 — 44%. Практически же известняки содержат то или иное количество примесей, как растворимых (доломит), так и нерастворимых водой (глина, песок). При незначительном количестве (до 5%) нерастворимых примесей карбонатная порода считается чистой. Если в ней содержится от 100 до 95% кальцита, то это будет просто известняк. Если кальцита от 95 до 75%, а остальное примесь доломита, такую породу называют доломитистым известняком, если же кальцита 75 — 50% и соответственно больше доломита, — доломитовым известняком. Когда речь идет только о химическом составе карбонатной породы, не следует употреблять широко распространенные термины «доломитизированный известняк» и «кальцити-

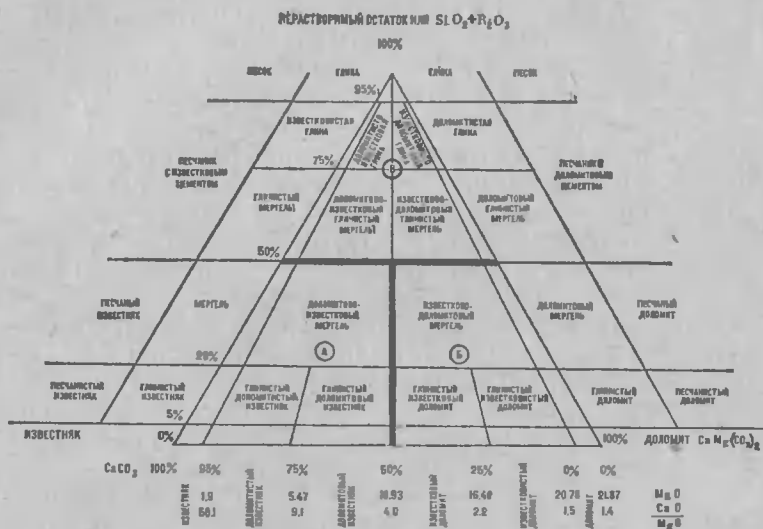


Рис. 9. Схема подразделения карбонатных пород (по С. Г. Вишнякову).

А — поле группы (семейства) известковых пород, Б — поле группы доломитовых пород, В — поле группы карбонатно-глинистых пород.

зированный доломит», поскольку эти термины свидетельствуют о вторичности процесса обогащения известняка доломитом, а доломита — кальцитом.

При содержании в породе от 5 до 20% нерастворимых примесей ее называют глинистым известняком (глинистым доломитистым известняком, доломитовым известняком) или песчанистым известняком. Известковая порода, содержащая от 20 до 50% глинистой примеси, носит название мергеля (доломитово-известкового мергеля), а в случае песчаной примеси — песчаного известняка (см. рис. 9).

Доломиты. Доломит, карстующаяся карбонатная горная порода, в большей своей части состоит из минерала доломита (двойная углекислая соль кальция и магния — $CaCO_3 \cdot MgCO_3$), в котором на $MgCO_3$ приходится 45,8%. Происхождение доломитов менее ясно, чем известняков. Но в отличие от известняков оно не столь разнообразно. Возникавшие на разных стадиях осадочного породообразования и даже в разных фациальных обстановках доломиты были связаны с осолонением воды доломитооб-

разующего бассейна, т. е. с водами повышенной солености (Страхов, 1963; Карбонатные породы, 1970). Доломитообразование было процессом, присущим лишь зонам теплого и аридного климата. Из выделенных Н. М. Страховым (1956) трех природных типов доломита только два — пластовые доломитовые породы и доломиты, залегающие среди известняков в виде линз, пятен, штоков, — имеют значение для карстообразования. Эти пластовые формы и метасоматические доломитные накопления образуют горные породы, в то время как третий тип — прожилки и жилы — представляет собой скопления минералогического характера. Пластовые доломиты являются седиментационными, пятнисто-линзовидные — седиментационно-диагенетическими. Подавляющая масса доломита возникала в морских бассейнах.

В ходе геологической истории происходило ослабление процесса доломитообразования. В разрезе осадочного чехла Русской платформы, например, наблюдается постепенное вытеснение доломита кальцитом. Одновременно с затуханием доломитообразования шло изменение фациальных типов доломитов. «Из богатого фациального спектра палеозойских доломитов к настоящему времени сохранилась лишь маленькая его часть» (Страхов, 1963, стр. 482), причем в морских условиях сейчас образуются только пятнисто-линзовидные метасоматические доломиты.

Отмеченные выше на основании работ Н. М. Страхова (1956, 1963) закономерности помогают выяснить приуроченность доломитового карста к породам определенного возраста (главным образом палеозойским). Из этих же работ и из работ А. Б. Ронова (1956), раскрывающих генетическую сущность доломитообразования, видна тесная связь в накоплении доломита и гипса, в образовании доломитов и известняков. Отсюда становятся ясными закономерности совместного залегания этих горных пород и сопряженного развития соответствующих типов карста.

То, что было сказано о структурных и текстурных особенностях известняков и их классификации по этим признакам, в основном касается и доломитов. То же можно сказать о значении для карстообразования величины кристаллов (зерен), разнотерности, слоистости и пористости. Как и у известняков, исключительное значение имеет химический состав доломитов.

Теоретический состав чистого доломита: CaO — 30,4%, MgO — 21,9, CO_2 — 47,7%. При малом количестве (до 5%) нерастворимых примесей и не более 5% примеси кальцита (содержание MgO от 21,9 до 20,8%) порода считается доломитом. При содержании кальцита от 5 до 25% (MgO — 20,8—16,4%) породу называют известковистым доломитом, при содержании кальцита 25—50% (MgO 16,4—10,9%) — известковым доломитом. При содержании в породе от 5 до 20% нерастворимых примесей ее называют глинистым доломитом (глинистым известковистым доломитом, известковым доломитом) или песчанистым доломитом. Порода, содержащая от 20 до 50% глинистой примеси, носит название доломитового мергеля (известково-доломитового мергеля), а в случае песчаной примеси — песчаного доломита (см. рис. 9).

Мел. Мел представляет собой микрозернистый известняк, слабо сцементированный, мажущий, с землистым изломом, лишенный слоистости. Он известен главным образом из отложений верхнемелового возраста. Мел содержит до 90—98% CaCO_3 . Его главные составные части: кокколиты (10 — 75%) диаметром 2 — 5 μ , микрозернистый кальцит (5 — 60%) с диаметром зерен 2 — 10 μ и мелкие фораминиферы (5 — 40%). В единичных экземплярах встречаются крупные раковины и их обломки, ростры белемноидей, обычны примесь глинистых минералов и другие незначительные примеси. В подавляющей части мел представляет собой органогенный осадок, сложенный главным образом кокколитами и фораминиферами. Лишь незначительную часть меловых пород можно рассматривать как частично химический или бактериально-химический осадок, либо продукт механического раздробления твердых известковых пород.

М. С. Швецов (1958) особенно подчеркивает, что мел является одной из разновидностей известняков и выделяется из их общей массы не более, чем многие другие. Однако вследствие особенностей структуры мела, главным образом из-за слабой цементации зерен, карстовые процессы в мелу, как мы увидим ниже, протекают своеобразно, и в карстоведении меловой карст принято выделять в качестве особого литологического типа.

Мрамор. Мрамор является продуктом перекристаллизации известняков, в котором исчезают следы первоначального строения известняка. Порода состоит преимущественно из крупных зерен кальцита почти одинаковой

величины. Широко распространены переходные между известняком и мрамором породы — мраморизованные (мраморовидные) известняки.

Наиболее обычный процесс перекристаллизации — рост более крупных, более устойчивых кристаллов за счет менее устойчивых, мелких, одновременно растворяющихся в той же среде. Перекристаллизации способствуют: незначительное поокисление среды, повышение давления и температуры, наличие в породе пор и пустот. В платформенных условиях перекристаллизация идет обычно под гидрохимическим воздействием подземных вод, в геосинклиналях — под влиянием повышенных температур и давления.

На начальной стадии перекристаллизации мелко- и микрозернистые известняки представляют собой однородную породу с «кристаллическим», «сахаровидным» изломом, крупнозернистые — с мраморовидным, крупнокристаллическим изломом. Микрозернышки раковин постепенно замещаются более крупными кристаллами. Далее остаются неясные следы первоначальных структур, полости раковин и часть цемента замещаются крупными кристаллами. При дальнейшей перекристаллизации первоначальное строение совсем затушевывается (Швецов, 1958).

2. Особенности процессов в некоторых литологических типах карбонатного карста

В карбонатном карсте различают несколько литологических типов: известняковый, доломитовый, меловой, мергельный карст и переходные между ними типы, карст в мраморах и мраморизованных известняках. Химизму и отчасти «механизму» процессов развития известнякового карста посвящена основная часть предыдущей главы. Здесь следует остановиться на особенностях карстообразования в некоторых других литологических типах.

При карстовании карбонатных пород неоднородного минерального состава — известковых и известковистых доломитов, доломитистых и доломитовых известняков — на первый план выступает различие в скорости растворения кальцита и доломита. В процессе развития карста из-за более быстрого выщелачивания известняка происходит изменение структуры пород, увеличивается пористость, уменьшается прочность. Одновременно изменяет-

ся минеральный состав: доломитовые известняки превращаются в известковые и известковистые доломиты, известковистые доломиты — в чистые. На определенной стадии развития карста разрушение породы начинает количественно преобладать над процессами выщелачивания, скальная порода превращается в рыхлые карбонатные продукты разрушения. Так, за счет преимущественного выноса в растворенном состоянии кальцита накапливается как осадочный продукт рыхлый осадок, так называемая доломитовая мука, состоящая преимущественно из мелких зерен доломита диаметром 0,25—0,01 мм (Родионов, 1949). Наблюдаются случаи, когда разрушение доломитов и образование доломитовой муки происходят не за счет выщелачивания свободного кальцита, а вследствие разрушения кристаллов (ромбоэдров) самого доломита (Болотина и Соколов, 1954).

В закарстованных известковистых доломитах доломитовая мука «целиком выполняет первоначальный объем, который ранее занимала разрушенная часть породы» (Попов, 1959, стр. 207).

Свойства доломитовой муки подробно изучены Н. В. Родионовым (1949). Доломитовая мука может представлять опасность при гидротехническом строительстве из-за возможности ее размыва и выноса током воды при наполнении водохранилища. Ее изучение и было проведено в связи с тем, что с ней столкнулись во время изысканий для гидроэнергетического строительства на Самарской Луке. Выяснение характера ее распространения и стойкости против размыва фильтрационными токами требовало знания условий и процессов ее образования (Попов, 1967). За рубежом изучением доломитовой муки занимался польский исследователь М. Джулинский.

По мнению Н. В. Родионова (1947), карстовый процесс в известковистых доломитах «обычно не сопровождается выработкой крупных пустот и пещер внутри массива; продукты разрушения целиком заполняют трещины породы. Поверхностные формы... (воронки, карры и пр.) также отсутствуют». Характерны пористые губчатые породы и рыхлые карбонатные продукты их разрушения. Нами, однако, в обрывах Скалистого хребта на Северном Кавказе в известково-доломитовых и доломитовых пористых и губчатых породах с доломитовым песком на дне мелких полостей наблюдались и довольно крупные полости ишш-пещер. Карстовые полости, слабее

развитые, чем в чистых известняках, с воронками просасывания в покрывающих известковистые доломиты рыхлых осадках наблюдались нами и в Приангарье. Но несомненно, что морфологические и ландшафтные различия известнякового и доломитового карста вместе с переходными между ними типами весьма значительны, на чем мы еще остановимся в главе VIII. И. Цвийич (Cvijić, 1925, 1960) относит доломитовый карст к типу мерокарста, т. е. несовершенного, неполного карста.

Своеобразно происходит развитие карста в меломергельных породах и пишущем мелу. В результате изучения действия подземных вод на мергели и другие не растворяющиеся нацело породы Ф. Ф. Лаптев и другие исследователи пришли к заключению о необходимости различать процессы растворения и разрушения породы. Под разрушением понимают суммарный результат выщелачивания из породы растворимых веществ и механического выноса водой нерастворимого остатка. Разрушение породы может идти значительно интенсивнее растворения (Попов, 1959).

При растворении мергелей, а также таких слонстых толщ карбонатных пород, где слои известняков чередуются с мергелями и тонкими пропластками мергелистых глин, в качестве остаточного продукта выщелачивания накапливается глинистый элювий, который закупоривает трещины, затрудняя этим циркуляцию вод. Развитие карста в этих случаях идет интенсивно лишь в сильно трещиноватых зонах, на участках сгущения тектонических трещин или вдоль крупных разломов, где сохраняется водопропускная способность трещин.

Пишущий мел является почти нацело растворимой породой. Однако эта порода относительно рыхлая, и считают, что она легко подвергается не только растворению, но и разрушению путем размыва циркулирующей по трещинам водой (Попов, 1959). Омечают также сравнительно легкую диспергацию структуры мела под действием циркулирующей по трещинам (например, в зоне выветривания) воды, что вызывает развитие суффозии и «ускоряет разрушение мела совместным действием карстового и суффозионного процессов» (Попов, 1967, стр. 18).

В новейшей сводке Г. А. Максимовича (1969) отмечена значительная пористость (обычно 40—45%) мела, что определяет его высокую влагоемкость. Между тем фильтрационная способность мела при отсутствии тре-

щий ничтожна, и вне зон трещиноватости он практически безводен. Малая прочность и легкая размокаемость мела обусловлены слабой цементацией слагающих его частиц. Трещины выветривания и другие, служащие путями для проникновения воды, «расширяются растворением и даже разрушением с растеканием превращенного в лывун мела», что приводит к возникновению разнообразных карстовых полостей, вызывающих «появление соответствующих отрицательных форм рельефа и на поверхности» (Максимович, 1969, стр. 420—421).

Вполне вероятно, однако, что наблюдающееся разжижение пищевого мела, о котором упоминают Г. А. Максимович и И. В. Попов, имеет или, точнее, может иметь не физическую, а химическую природу. А. А. Колодяжная на основании экспериментальных данных указывает, что при взаимодействии с гуминовыми кислотами мел даст нерастворимый осадок типа геля. Он похож на разжиженную массу — «жидкий мел», который встречается в карстовых пустотах меловой толщи, вскрытой в бортах карьеров Курской магнитной аномалии. Происхождение этого «жидкого мела», по мнению А. А. Колодяжной, «возможно, связано с гуминовыми кислотами, проникающими из почвенного покрова по редким трещинам в относительно компактную меловую толщу» (Колодяжная, 1970, стр. 112). В сравнении с другими карбонатными породами пищевой мел (из района КМА), по данным А. А. Колодяжной, наиболее растворим под воздействием гуминовой кислоты или фульвокислоты.

Пещеры в меле из-за его малой прочности не достигают больших размеров и обычно недолговечны. Поверхностные карстовые формы довольно разнообразны, хотя представлены и неполно. Характерны воронки (провальные и др.), западины, колодцы, естественные шахты.

И. Цвийич (Cvijić, 1925, 1960) меловой карст и карст в мергелистых известняках, как и доломитовый, считал мерокарстом (несовершенным карстом).

Раньше полагали, что карст в мраморах почти не развивается или развивается слабо. Однако к настоящему времени накоплено довольно много сведений о распространении карста в мраморизованных известняках и мраморах. Процесс развития карста в мраморах изучен мало. В качестве рекомендаций для дальнейших исследований следует указать на необходимость изучения состава вод в районах этого литологического типа карста.

Нужно установить степень различия в интенсивности развития карста при воздействии на мрамор вод, содержащих только агрессивную уголекислоту, и растворов с различными кислотами.

3. Соли -

Солями в петрографии осадочных пород условно называют чисто химические осадочные породы, которые состоят из наиболее растворимых минералов, выпадающих в осадок в результате испарения и увеличения концентрации природных вод. Вследствие большой растворимости все соли подвергаются выщелачиванию. К числу широко распространенных карстующихся пород относятся гипс и ангидрит, а также каменная соль.

Гипс и ангидрит. Гипс и ангидрит как горные породы состоят из одноименных минералов. По химическому составу они отличаются чистотой. Сингенетическими примесями в них обычно являются доломит, соляные минералы, органическое вещество. Песчаная и глинистая примеси редки. В пластах гипс бывает преимущественно мелкозернистым (его белые разновидности иногда называют алебастром). Встречаются, однако, и крупнокристаллические слоистые гипсы (серые тортонские гипсы Приднестровской Подолии и южной Польши, в бассейне р. Ниды). Гипсы и ангидриты имеют разнообразные цвета и оттенки: белый, розовый, желтоватый, голубовато-серый, серый коричневатый и др. Гипс легко отличить от ангидрита по мягкости (он чертится ногтем).

Ангидрит выпадает из чистого раствора при температуре свыше 66°C , но при наличии в растворе NaCl и особенно MgCl_2 — уже при 30° и даже при 25°C . При более низких температурах должен выпадать из раствора гипс. Но так как выпадение сернокислого кальция происходит обычно из соленых вод, богатых хлоридами, которые отнимают у водного сернокислого кальция воду, полагают, что большая часть залежей сернокислого кальция первоначально выпадает в виде ангидрита¹. Оказавшись в результате денудационных процессов близ земной поверхности (примерно в 150 м от нее), залежи ангидри-

¹ По Н. М. Страхову (1963, стр. 266). «первичным седиментационным образованием были гипсы, а ангидриты возникали из них впоследствии при регидратации в процессе катагенеза...».

та начинают гидратироваться и переходят в гипс, увеличиваясь при этом в объеме до 30%, что приводит к возникновению текстур смятия¹. Попадая же, наоборот, на значительные глубины, гипс переходит в ангидрит. Условия образования гипса и ангидрита часто определяют форму их залегания то в виде мощных линз, то выклинивающихся слоев, перемежающихся слоями поваренной соли, доломита, реже известняков, глин, песков (Швецов, 1958). Из сказанного становится ясным, что карст в гипсах и карст в ангидритах тесно сочетаются друг с другом и при совместной встречаемости в природе поддаются расчленению лишь при детальном исследовании.

Каменная соль. Каменная соль в основном состоит из минерала галита. Как и другие соли, она отличается чистотой химического состава, хотя иногда содержит и примеси. Каменная соль обычно состоит из крупных или даже очень грубых зерен галита, иногда образуя сплошные массы, но при наличии примесей может обладать четко выраженной тонкой слоистостью. Иногда она пориста или рыхла. Цвет ее чаще всего белый, реже — других оттенков. Порода образует пласты, линзы и в соляных куполах колоссальные штоки (Швецов, 1958).

Гипсы, ангидриты и каменная соль входят в состав так называемых галогенных формаций, возникших в аридных климатических условиях и приуроченных к определенным тектоническим элементам Земли, и являются главнейшими представителями галогенных образований (Иванов и Левицкий, 1960). Континентальные галогенные формации, связанные с внутриконтинентальными озерными водоемами, редки, характеризуются обогащенностью терригенным обломочным материалом, сложностью минерального состава солей и неполнотой развития галогенного процесса. Гораздо шире распространены и полнее развиты морские галогенные формации. В про-

¹ С. И. Парфенов (1967), основываясь на изучении сульфатных пород северного склона Токмовского свода Русской платформы, доказывает, что процесс перехода ангидрита в гипс, т. е. гипсотизации, является типичным метасоматическим процессом, протекающим без изменения объема исходной породы и не вызывающим никаких деформаций сульфатных пород. По его данным, гипсы представляют собой продукты частичного растворения ангидритов. При гипсотизации выносятся около 0,4 массы ангидрита, а место вынесенных кальция и серы занимает кристаллизационная вода.

цессе испарения воды и осолонения морских водоемов осуществлялась закономерная смена пород. В интервале солености от 3,5 до 13—14% возникали карбонатные породы — вначале известняки, затем вскоре доломиты, которые образуют «базальный член галогенных разрезов, подстилающий собственно галогенные отложения» (Страхов, 1963, стр. 266). Это карбонатная стадия. При минерализации от 14 до 26—27% образовывались сульфатные осадки — гипсы и ангидриты, формировавшие «заметные по мощности свиты» (там же). Сульфатная стадия в интервале минерализации 26 — 30—32% сменялась галитовой стадией, т. е. садкой NaCl . При солености выше 30—32% начинали накапливаться калиево-магниевые соли, и эта калиево-магниева стадия продолжалась до полного высыхания раствора. Изложенное проливает свет на частую совместную встречаемость гипсово-ангидритового карста с доломитовым, с одной стороны, и соляным — с другой.

Среди пород, вмещающих галогенные отложения, часты разнообразные по условиям образования песчано-глинистые красноцветные или пестроцветные толщи (Иванов и Левицкий, 1960). Выщелачивание залегающих среди них пластов и линз галогенных пород, например, гипса или ангидрита, приводит к образованию провалов и развитию карстового рельефа на поверхности, сложенной красноцветами.

Галогенные формации и проявления галогенеза известны во всех геологических системах палеозоя и мезокайнозоя (в СССР их лишены лишь отложения триаса). Интенсивность галогенеза не оставалась постоянной — то увеличивалась, то убывала. По степени распространения и роли галогенных отложений в СССР геологические периоды располагаются приблизительно в такой последовательности: пермь, неоген, девон, кембрий, юра, мел, палеоген, карбон, ордовик и силур (Иванов и Левицкий, 1960). По Н. М. Страхову (1963, стр. 504), развитие галогенеза в истории Земли контролировалось тектоническими факторами и климатом: «...развитием структуры литосферы, ходом тектонических движений, а также изменениями в пролегании климатических зон и их соотношениями с тектоническими структурами земной коры».

4. Особенности развития гипсово-ангидритового и соляного карста

Активность гипсового и гипсово-ангидритового карста в десятки раз превышает активность карбонатного (*Горбунова, 1965*). Из-за большей скорости выщелачивания гипса и ангидрита он может представлять опасность при разного рода строительстве (см. гл. XII) и требует особого подхода к исследованию в инженерных целях.

При отсутствии трещиноватости гипсовые и гипсово-ангидритовые толщи практически являются водонепроницаемыми и могут служить водопорами (*Максимович, 1963; Горбунова, 1965*). Вода выщелачивает сульфатные породы, циркулируя по трещинам, но при замедленном водообмене быстро в них насыщается. Интенсивное развитие карста происходит в условиях активного водообмена. Большую роль в выщелачивании пластов и линз гипса и ангидрита играет циркуляция вод во вмещающих их водопроницаемых породах, как рыхлых, с поровой водопроницаемостью, так и в твердых трещиноватых (известняки, доломиты). В этом случае выщелачивание идет по контакту гипса (или ангидрита) и вмещающей породы.

Для гипсового и гипсово-ангидритового карста характерна большая плотность карстовых воронок (в покрытом карсте преимущественно провальных) и других поверхностных форм, значительное количество подземных полостей и пещер. Из-за непрочности гипсовой кровли крупные пещеры образуются преимущественно лишь в тех случаях, когда над гипсами залегают прочные бронирующие пласты других пород. При отсутствии их происходит обрушение сводов и образование провалов на поверхности. Подземные (карстовые) и поверхностные воды в сульфатном карсте отличаются повышенной минерализацией (*Горбунова, 1965*).

Соляной карст характеризуется еще более энергичным развитием, а из-за пластичности каменной соли — ограниченной внутренней циркуляцией вод и еще большим значением выщелачивания с поверхности солевых массивов и на контакте с вмещающими водопроницаемыми породами. В зоне выветривания каменная соль становится водопроницаемой (в слое до 30—50 м мощностью), что из-за увеличения поверхности растворения облегчает ее выщелачивание (*Короткевич, 1967, 1970*).

Воды соляных месторождений помимо обычных источников питания при определенных климатических условиях могут пополняться за счет конденсации водяных паров из воздуха, которая в сравнении с другими горными породами усилена из-за гигроскопичности солей. По экспериментальным данным, при относительной влажности воздуха 92—95% и температуре 17—19°C слой конденсационной воды на поверхности каменной соли или насыщенных рассолов в пересчете на год составляет приблизительно 90 мм (Короткевич, 1967, 1970).

Развитие соляного карста, протекающее очень быстро и энергично, бывает тесно связано с добычей каменной соли в подземных выработках. Активизация соляного карста вызывала многочисленные случаи гибели соляных шахт; выщелачивание солей приводит к большим деформациям поверхности и находящихся на ней сооружений. Условия развития соляного карста, а также весьма разнообразные поверхностные и подземные карстовые формы подробно описаны в работах А. И. Дзенс-Литовского (1966), Г. В. Короткевича (1970) и многих других.

Влияние на развитие карста мощности карстующихся пород, характера залегания слоев и трещиноватости

Мощность карстующихся пород при их относительной однородности играет огромную роль в карстообразовании, обеспечивая большое развитие карстовых форм по вертикали, особенно в случае наклонного залегания слоев в моноклинальных и складчатых тектонических зонах. В обстановке платформ при мало изменяющихся условиях седиментации карбонатные породы — известняки и доломиты — могут достигать мощности в сотни метров, в геосинклинальной обстановке могут образоваться сравнительно однородные карбонатные осадки, достигающие иногда 2—3 км (Максимович, 1963). Вполне закономерно, что все известные в мире карстовые полости глубиной свыше 500 м (глубочайшие естественные шахты, или пропасти) находятся в геосинклинальных складчатых областях. При наклонном залегании слоев мощность карстующихся пород приобретает особое значение потому, что при одинаковом наклоне она определяет площадь закарстованных поверхностей из-за большей или

меньшей ширины полосы выхода карстующихся пород на поверхность.

Наклонное залегание пород, хотя оно лучше всего способствует проникновению вод в глубину карстующихся толщ и их циркуляции (Н. И. Николаев, 1946, считает его самым благоприятным для развития карста), ограничивает территориально области распространения карста. Горизонтальное, или почти горизонтальное, залегание слоев при определенных системах дренажа обеспечивает чрезвычайно широкую циркуляцию вод в боковом направлении и, если системой вертикальных трещин допускается свободная вертикальная циркуляция вод, создает условия и для развития подземных форм карста. Нами уже отмечалось, что многие из крупных пещерных систем мира, а теперь мы знаем, что и крупнейшие лабиринты пещер СССР (в Приднестровской Подолнии), так же как и наибольшие по площади области распространения карста в СССР и за рубежом, приурочены к горизонтально наслоенным карстующимся породам (Гвоздецкий, 1954). Правда, складчатые системы, в которых трещиноватые (из-за растягивающих сил) зоны сводов антиклиналей служат местами поглощения вод, а в их крыльях воды отводятся вглубь, опять же при наличии дренажных систем, не менее, а, как правило, еще более (из-за интенсивности трещиноватости) благоприятны для развития карста если не по площади, то по степени интенсивности. Дренажными системами служат здесь долинные понижения эрозионного и тектонического происхождения, разрезающие складчатые структуры и обеспечивающие циркуляцию вод.

Поскольку отдельные слои могут в разной степени подвергаться выщелачиванию, характер залегания слоев является очень важным фактором, определяющим морфологию подземных и поверхностных карстовых форм.

Трещиноватость карстующихся горных пород играет исключительно большую роль в развитии карста, так как обеспечивает циркуляцию вод внутри массивов пород, водонепроницаемых по своим структурным и текстурным особенностям, и во многом определяет морфологию подземных карстовых полостей и поверхностных форм (Зайцев, 1940; Гвоздецкий, 1950, 1954).

Основные генетические категории трещин, наиболее существенные в процессе карстования, Д. С. Соколов (1962) располагает в той последовательности, которая

ближе всего к развитию трещиноватости осадочных пород в ходе геологической истории: трещины литогенетические, тектонические, разгрузки, выветривания. Наиболее универсальное значение в развитии карста имеют литогенетические и в особенности тектонические трещины (их классификация, по В. В. Белоусову, нами дана в предыдущей монографии о карсте — *Гвоздецкий, 1954*), поскольку они обуславливают отвод воды с поверхности в глубь массивов, глубинную циркуляцию вод, карстование не только на поверхности, но и в глубине и подземный вынос выщелоченных веществ. Разгрузка приводит как к образованию новых трещин, так и в особенности к раскрытию литогенетических и тектонических трещин. Эта роль ее совершенно справедливо подчеркивается Д. С. Соколовым (*1962*). Разгрузка на крутых склонах приводит не только к образованию трещин отседания, или «бортового отпора» (Соколов, 1957; Лыкошин, 1953), но и к раскрытию тектонических трещин, параллельных крутому откосу или обрыву (Соколов, 1962; Гвоздецкий, 1966). Разгрузка (как и процессы выветривания в приповерхностных зонах) приводит также к раскрытию трещин наслоения, или напластования, играющих большую роль в развитии карста. Процессы выветривания также не только создают новые трещины — трещины выветривания, но и приводят к раскрытию трещин иного генезиса. Трещины выветривания не имеют такого универсального значения, как трещины двух первых генетических категорий, но играют весьма существенную роль в развитии поверхностных карстовых форм и в карстовании приповерхностной (вертикальной) зоны.

Под воздействием циркулирующей по трещинам воды при господстве процесса выщелачивания трещины всех генетических категорий расширяются, и это ведет к дальнейшему возрастанию интенсивности развития карста.

Гидрогеологические условия

1. О гидрогеологической терминологии

Как будет видно из текста главы VI, у западноевропейских и американских исследователей безнапорные подземные воды аэрации и свободно текущие под влиянием

силы тяжести пещерные потоки в полостях, заполненных воздухом, принято именовать вадозными, а напорные воды зоны полного насыщения — фреатическими. В советской гидрогеологии из этих двух терминов широко распространен только первый — «вадозные воды», но применяется он в ином, более широком значении.

По классификации подземных вод А. М. Жирмунского и А. А. Козырева (1928 г.), к выделяемым по генетическим признакам вадозным водам относятся инфильтрационные, конденсационные и инфлюационные воды и противопоставляются они ювенильным, ископаемым и смешанным водам. В классификации О. К. Ланге (1950 г.) фигурируют вадозные и смешанные подземные воды, к которым относятся воды от подвешенных почвенных до восходящих межпластовых. По классификации Ф. П. Саваренского (1939 г.), к вадозным (по происхождению) водам относятся типы почвенных, грунтовых, карстовых и артезианских вод, а жильные (трещинные) — к вадозным и ювенильным (см. Овчинников, 1955).

В последнем своем учебнике О. К. Ланге говорит о подземных водах конденсационных, инфильтрационных, инфлюационных и ювенильных, или магмогенных. Первые три категории «объединяются под общим названием вадозные воды, так как они представляют собой одно из звеньев общего круговорота воды в природе» (Ланге, 1969, стр. 44).

По всем этим классификациям, фреатические воды иностранных авторов, за немногим, может быть, исключением, например минеральных вод, где могут быть ювенильные компоненты¹, должны быть отнесены к вадозным водам. Термин «фреатические воды» у нас почти совсем не употребляется. Его применял Б. Л. Личков, но в ином значении, чем западноевропейские и американские исследователи, а именно по отношению к водам метаморфического пояса, глубокие же грунтовые и напорные воды он причислял к вадозным водам пояса выветривания.

Вследствие существенных терминологических расхождений мы вынуждены (гл. VI) термины «фреатический»

¹ В Минераловодском районе Северного Кавказа глубинное происхождение, связанное с поствулканическими и метаморфическими процессами, имеет углекислота минеральных источников (Орфанди, 1962).

и «вадозный» в придаваемом им зарубежными карстоведами значении употреблять в кавычках.

2. Некоторые замечания о циркуляции подземных вод карста

В предыдущей монографии (*Гвоздецкий, 1950, 1954*), отталкиваясь от представлений Ч. Сливтера, Э. Мартеля и Й. Цвийича, нами предложено выделять три основные вертикальные гидродинамические зоны: 1) зону аэрации, 2) зону периодического полного насыщения водой, 3) зону постоянного полного насыщения водой. Вместе с тем мы согласились с целесообразностью предложения Д. С. Соколова (1951) выделять две зоны полного насыщения: находящуюся в сфере дренирующего воздействия гидрографической сети (3) и глубинной циркуляции без непосредственного дренирующего воздействия гидрографической сети (4), отметив отсутствие четкой границы между ними, поскольку гидрографическая сеть складывается из местных рек, крупных рек, притоками которых служат местные реки, и т. д. (*Гвоздецкий, 1954, стр. 135—136*).

Для карстования очень важна циркуляция подземных вод зоны полного насыщения под напором, в том числе значительно ниже уровня дренирующих подземные воды карста поверхностных водотоков, что отметил У. М. Дейвис (*Davis, 1930*). Он приводил данные, по Х. Ф. Бейну (H. F. Bain), о циркуляции воды более чем на 500 м (1750 футов) ниже вреза одной из долин плато Озарк (Миссури). Наглядным свидетельством важности для карстования циркуляции напорных вод служит оз. Цериккель в долине Черека на Северном Кавказе, представляющее собой разработанную по трещине полость восходящего источника 258 м глубиной. По материалу доклада югославского географа и карстоведа И. Роглича на IV съезде Географического общества СССР в Москве (28 мая 1964 г.), глубина циркуляции карстовых вод в шахтах Бельгии и во Флориде достигает 2000 м, а в Англии, по данным геофизических определений, — 3000 м.

О важности для карстования движения воды под напором говорится в ценной работе О. Леманна (*Lehmann, 1932*). Его представления основываются на законах гидродинамики, они изложены нами в прежней монографии

(Гвоздецкий, 1950, 1954). О. Леманн, как и У. М. Дейвис, признает движение воды в карсте ниже уровня рек (теперь этот вопрос уже давно не является предметом дискуссии). Но он не придает такого значения этому уровню, какое придавали ему Дейвис и другие исследователи, так как зона наполненных водой каналов начинается выше этого уровня и продолжается под ним. Однако ниже уреза рек и уровня дренируемых ими грунтовых вод вода движется только под давлением (это и есть «фреатические» воды, о которых говорилось в предыдущем разделе), а выше — и под давлением, и в виде свободных потоков.

Г. А. Максимович (1963) выделил следующие вертикальные зоны карстовых вод для карбонатного карста осадочного чехла платформ: I — поверхностной циркуляции, II — вертикальной нисходящей циркуляции (инфлюации), IIa — подзона висячих потоков, III — периодического колебания уровня карстовых вод (переходная), IV — горизонтальной циркуляции, V — сифонной циркуляции, VI — поддолинной (подрусловой) циркуляции магистральных рек. Кроме того, он выделил зоны вод палеокарстовых пустот: VII — глубинной циркуляции, VIII — глубинной замедленной циркуляции, IX — древних карстовых полостей и каверн со слабоподвижными рассолами.

В качестве дренажных систем подземных вод в карсте могут выступать не только эрозионные врезы, но и тектонические разломы. В гидродинамической классификации карста А. Г. Лыкошина (1964) выделены типы карста, обусловленные дренирующим влиянием близких эрозионных врезов, удаленных эрозионных врезов, зон тектонических нарушений при преимущественно нисходящем и преимущественно восходящем движении подземных вод.

В предыдущей монографии (Гвоздецкий, 1950, 1954) нами изложена дискуссия о зеркале, или скатерти, подземных карстовых вод и обособленных водотоках, происходившая среди западноевропейских исследователей карста в начале нынешнего столетия. На основании анализа материала дискуссии и изучения карста Горного Крыма А. А. Крубера (1913, 1915) пришел к заключению, что в карсте имеются грунтовые воды либо есть тенденция к нормальному развитию грунтовых вод, встречающаяся, однако, препятствие со стороны ряда факторов.

Новейшие исследования карста Горного Крыма показали, что сплошное прокарстование верхнеюрских известняков крымской Яйлы до водоупора является скорее исключением, чем правилом. «В разбитой на блоки моноклинально залегающей карбонатной толще не существует в настоящее время и не существовало на протяжении плиоцена — антропогена ни повсеместного обводнения, ни единого уровня карстовых вод». Обводненные участки и наиболее интенсивное развитие глубинного карстования локализуются в трещинных зонах вдоль крупных разрывных нарушений. «Для большинства горных массивов Крыма можно считать доказанным существование изолированных трещинно-карстовых водотоков...», а вертикальная гидродинамическая зональность карстовых вод характеризуется широким развитием «зон аэрации и сезонных колебаний карстовых вод в изолированных водотоках» и спорадическим развитием «зон полного насыщения», причем «водам зоны полного насыщения свойствен застойный режим», в то время как в пределах двух верхних зон происходит «активная циркуляция подземных вод» (Дублянский, 1968, стр. 294—295).

Приведенные результаты исследований наиболее полно изученной горной карстовой провинции СССР показывают гидрогеологическое своеобразие горного карста.

На основании изучения карстовых областей Большого Кавказа мы пришли к заключению, что часто встречающиеся в горных карстовых областях подземные реки бывают двух типов. Одни дренируют грунтовые трещинно-карстовые (или порово-карстовые) воды, подобно тому как это делают протекающие среди закарстованных толщ поверхностные реки. Другие не связаны с грунтовыми водами и являются «обособленными водотоками» в полном смысле. Но среди поверхностных рек карстовых областей тоже встречаются «висячие» потоки, протекающие выше зоны полного насыщения, например р. Келасури в окрестностях Сухуми, значительно ниже русла которой опускаются заполненные воздухом полости известной Келасурской пещеры (Гвоздецкий, 1950, 1954). И здесь, следовательно, имеется определенная аналогия между подземными и поверхностными водотоками карста.

Влияние наклона топографической поверхности и геоморфологических условий

При прочих равных условиях крутизна наклона топографической поверхности определяет степень инфильтрации дождевых и талых снеговых вод. На участках с меньшей крутизной инфильтрация больше и условия для развития карста благоприятнее. В предыдущей монографии о карсте (1954) для иллюстрации этого положения мы привели данные наблюдений Д. С. Соколова (1948) в средней части Уфимского амфитеатра, которые показали заметное снижение плотности карстовых воронок по мере увеличения крутизны топографической поверхности. Аналогичные результаты получены Л. С. Кузнецовой (1962) для Кизеловского района Урала. Там на водораздельных пространствах с наклоном поверхности $1-2^\circ$ наблюдается наибольшая плотность воронок — до 33 на 1 кв. км, при уклонах $4-5^\circ$ она равняется 23, а при крутизне свыше 6° снижается до 9 на 1 кв. км.

Помимо малой величины угла наклона важна также и площадь слабо наклоненных поверхностей. С узких и малых по площади выношенных поверхностей легче осуществляется поверхностный сток, чем с обширных, которые обычно служат аренами развития поверхностных форм карста и, как решето, пропускают воду в глубь карстующегося массива. Однако размеры таких поверхностей не должны быть велики беспредельно. Расчленяющие и обрамляющие плоские плато эрозионные каньоны и долины тектонического происхождения должны обеспечивать разгрузку подземных вод, чтобы была возможность достаточно интенсивной циркуляции внутри толщи карстующихся пород.

Влияние климата и стока

Наличие растворимых горных пород, водопроницаемых вследствие трещиноватости или пористости либо доступных растворению водой с поверхности — топографической или на контакте с водопроницаемой некарстующейся толщей, — является первым условием, определяющим возможность появления и развития карста. Второе усло-

вие — вода как растворитель, приносящая агрессивные компоненты (если речь идет о карбонатном карсте) и уводящая прочь растворенные вещества. Тем самым не достигается ее насыщение и осуществляется возможность дальнейшего выщелачивания. Циркуляция воды в данном случае — такое же необходимое ее свойство, как водопроницаемость растворимых пород или доступность для воды их поверхности. Циркуляция воды определяется геолого-геоморфологическими условиями, которых мы кратко коснулись в предыдущих разделах. Но сама вода как растворитель — это элемент стока, поверхностного и подземного, который тесно связан с климатом.

Количество осадков и величина стока — важнейшие факторы, определяющие интенсивность развития карста при равных условиях растворимости и скорости растворения горных пород. Как мы видели в предыдущей главе, высота слоя стока и модуль стока — величины, входящие в формулы, предложенные Ж. Корбелем и М. Пулиной для расчета скорости карстовой денудации.

Для развития карста важно не только годовое количество осадков, которое определяет величину годового стока. Существенно также распределение осадков по сезонам. В континентальных областях умеренных широт с суровой зимой, во время которой фактически прекращается инфильтрация вод, очень существен летний максимум осадков, как это отмечалось нами для Приангарья (1954). Неравномерность в сезонном распределении осадков играет очень большую роль в пустынных областях. Например, в южной (субтропической) зоне пустынь Средней Азии зимой и весной, во время снеготаяния и четко выраженного максимума осадков, создаются условия, когда возникает возможность развития карстовых процессов (Гвоздецкий, 1963; Пославская, 1963; Немчинова, 1963; Сумочкина, 1963).

Что касается температурных условий, то они играют и прямую и косвенную роль. Косвенное влияние отмечалось нами (1954) и следом за нами еще многими исследователями. Температурный режим очень существенно сказывается на гидрологическом режиме, определяя выпадение осадков в твердой или в жидкой фазе, быстрое или медленное стаивание снежного покрова, тем самым определяя соотношение стекания по земной поверхности и инфильтрации талых агрессивных вод, оттепели, промерзание почвы, исключаящее инфильтрацию даже во

время оттепелей, и, наконец, возникновение вечной мерзлоты, в условиях которой специфичность карстовых процессов настолько выступает на первый план, что приходится выделять особый морфолого-генетический тип карста (гл. VIII).

Прямое влияние температурных условий на развитие карста противоречиво. Оно противоречиво даже в отношении некарбонатного карста. Растворимость и скорость реакции растворения некарбонатных пород с повышением температуры, как правило, увеличиваются (по отношению к растворимости в пределах обычных для развития карста температур исключение составляет только ангидрит). Поэтому во влажном климате с повышением температуры интенсивность развития карста должна возрастать. Но в сухом климате увеличение температуры приводит к испарению и без того незначительного количества осадков, к уменьшению, следовательно, количества растворителя, и оно должно отрицательно сказываться на развитии карста (за исключением, может быть, локальных участков концентрированного стока, повышения температуры водотоков с родниковым питанием и т. п.).

Влияние температуры на развитие карбонатного карста еще более противоречиво. Здесь существенную роль играет уменьшение карбонатной емкости воды с повышением температуры. В то же время с возрастанием температуры увеличивается скорость растворения (см. гл. III). Кроме того, с увеличением температуры интенсифицируется биологическая и микробиологическая деятельность, усиливается действие биохимических процессов в растительных ярусах и почве, поступление в воду CO_2 и других агрессивных компонентов. Во влажных климатах все это, очевидно, перекрывает значение снижения карбонатной емкости воды и с возрастанием температуры развитие карста происходит энергичнее (см. следующий раздел). Но в сухом климате на первый план опять-таки должно выступать испарение скудных осадков. При небольшом количестве осадков возрастание температур, приводящее к созданию аридных условий, должно, как правило, отрицательно сказываться на развитии карста.

На процесс карстования оказывает влияние не только количество осадков и их сезонное распределение, но и характер их выпадения (ливневые осадки, кратковременные и затяжные дожди, морозящие и т. д.), пасмурность или переменная облачность, от которых зависит быстрота

стекания воды, в том числе и по обнаженной поверхности карстующихся пород, испарение воды от только что выпавших дождей. Эти факторы, как и связанные с косвенным (см. выше) и прямым влиянием температуры, зависят от погодных условий. Поэтому для климатического фона карстоведческих исследований желательно давать характеристику типов погод (Торсуев, 1964). Что же касается отдельных метеорологических элементов, то необходимо обращать внимание не только на осадки и температуры, но и на высоту и распределение снежного покрова, на ветры, сдувающие снег зимой в понижения карстовой поверхности (медленное стайвание снега в них способствует развитию карста), летом же усиливающие испарение, на влажность, определяющую возможность конденсации воды, и т. д.

Краткий обзор особенностей развития карста в разных климатических зонах дал П. Биро (Biro, 1954; см. также: *Щукин, 1964*). Обращая особое внимание на относительную роль поверхностной и подземной коррозии, он выделил следующие климаты: 1) перигляциальный с вечной мерзлотой; 2) прохладный океанический и приледниковый без вечной мерзлоты; 3) мягкий океанический; 4) более или менее аридный; 5) теплый и влажный. При характеристике особенностей развития карста в каждом из этих типов климата П. Биро высказывает ряд верных и интересных соображений. Но, акцентируя внимание на увеличении содержания CO_2 в холодных водах и их повышенной вследствие этого карбонатной емкости, он не учитывает увеличения скорости реакции растворения горных пород с повышением температуры, а также активизации биохимических процессов и удлинения сезона их активного действия (в субтропиках и тропиках круглогодичного).

Л. Якуч (Jakucs, 1970) также выделил пять наиболее типичных климатических зон, различающихся по количественному значению интенсивности карстования и характеру карстовых форм: 1) высокогорную и перигляциальную; 2) умеренную влажную; 3) средиземноморскую (вместе с областями пустынных степей); 4) пустынную; 5) тропическую (по существу влажнотропическую). Наибольшей интенсивности коррозионные карстовые процессы достигают во влажной тропической зоне, наименьшей — в пустынной. Промежуточное положение (по степени убывания интенсивности) занимают: средиземно-

морская, умеренная влажная, высокогорная и перигляциальная.

При этом в разных зонах на первый план выступают различные агрессивные агенты: в высокогорной и перигляциальной зоне — углекислота атмосферного происхождения (45%), биогенная углекислота в почве (30%) и органические кислоты (15%), в умеренной влажной — биогенная углекислота (54%) и органические кислоты (25%), в средиземноморской — они же (соответственно 55 и 25%), в пустынной — неорганические кислоты (55%), атмосферная углекислота (30%) и углекислота неорганических почвенных процессов — выветривания и т. п. (15%). Во влажных же тропиках на первый план выступают биогенная углекислота в почве (50%) и органические кислоты (43%).

Особенности развития карбонатного карста во влажных тропиках

Во влажном тропическом климате помимо четырехкратного увеличения (в сравнении с высокогорным или арктическим климатом) скорости растворения известняка интенсивно идет влагообмен¹, за счет ливневых осадков удлиняется действие третьей фазы растворения, весьма интенсивно и в течение всего года протекают биохимические процессы, увеличивающие агрессивность природных вод (за счет биогенной углекислоты и пр.), и все это, по-видимому, с лихвой перекрывает пониженную карбонатную емкость теплых вод. Во всяком случае если в карровых водах долины Бизис в Альпах при температуре от 2 до 7°C (на абсолютных высотах от 800 до

¹ На значение большого количества осадков и интенсивности влагообмена в формировании карста влажных тропиков нами указывалось в предыдущих работах. В одной из последних работ венгерского карстоведа Д. Балажа (Balázs, 1971) также подчеркивается значение количества осадков. Он отмечает, что если в Венгрии с 1 кв. км закарстованной территории сносится в растворенном виде за год 20 куб. м известняка, то тропическими карстовыми водами, имеющими меньшую жесткость, но большую массу, на четырех исследованных им карстовых участках в Индонезии с 1 кв. км в среднем за год сносится 85 куб. м. Как и мы (см. гл. III), он отмечает несоответствие полученных данных расчетным величинам Ж. Корбеля. Балаж указывает также на большое значение механической эрозии.

2200 м) содержится растворенной извести 16—46 мг/л, то в карровых водах Кубы при температуре 22—25°C ее содержится 90—185 мг/л¹ (Bögli, 1956).

Д. С. Соколов (1958) приводит количественные данные содержания HCO_3^- висячих карстовых водах во влажных субтропиках Китая, сравнивая их с аналогичными данными по Уфимскому амфитеатру. Показательно, что даже висячие карстовые воды, характеризующиеся короткими путями циркуляции, во влажных субтропиках оказались значительно более минерализованными в сравнении с одним из районов умеренных широт.

Д. С. Соколов (1958, 1962) считает, что инфильтрационные воды в условиях ландшафтов влажных субтропиков и тропиков отличаются резко повышенной агрессивностью по отношению к карбонатным породам главным образом за счет биохимических процессов, особенно развивающихся в почвенных горизонтах. При этом обогащение углекислотой подземных вод в зоне аэрации осуществляется не только при инфильтрации метеорных вод через почву, но и за счет ускоренной диффузии CO_2 из почвы. Масштаб этих явлений, тесно связанных с климатом и растительностью, особенно велик «в зонах влажного тропического и субтропического климата, где содержание CO_2 в почвенном воздухе является наиболее высоким², а генератор ее (биохимические процессы в почве) работает круглый год с большой мощностью» (Соколов, 1962, стр. 237). Одного этого, по мнению Д. С. Соколова, достаточно для того, чтобы значительно перекрыть влияние понижения растворимости CO_2 с повышением температуры, не говоря уже о большом количестве осадков и, мы бы подчеркнули, интенсивности водообмена. В условиях интенсивного водообмена вода не успевает насыщаться растворенной известью и роль карбонатной емкости теряет свое значение.

По Л. Якучу (Jakucs, 1970), интенсивность карстовой коррозии (ее темп) во влажных тропиках приблизительно в 72 раза превышает таковую в пустынях, в 6 раз —

¹ В арктических районах, по новейшим исследованиям Д. И. Смита (Smith, 1969), содержание кальция и магния в водах известняковых толщ также заметно ниже, чем в тропических областях.

² По данным Ф. Х. Ничолсона и Х. М. Ничолсон (Nicholson and Nicholson, 1969), в воздухе почв над известняками Ямайки содержится от 0,6 до 1,9% CO_2 , тогда как в воздухе почв над известняками в Англии концентрация CO_2 в зимний сезон составляет 0,3%.

в средиземноморском климате, в 8 раз — в умеренном влажном климате и в 12 раз — в высокогорном и перигляциальном. При этом основными агрессивными агентами во влажных тропиках являются, как отмечено, биогенная углекислота в почве и органические кислоты.

Приведенные выше данные о большом количестве растворенной извести в водах, стекающих по поверхности известняков во влажных тропиках, так же как данные и выводы Д. С. Соколова и Л. Якуча, хорошо объясняют, почему там распространены характерные формы останцового карста, представляющего собой весьма зрелую стадию карстовой денудации химически чистых (по Г. Леманну) известняков. Плюс к этому фактор времени, геологическая длительность соответствующей физико-географической обстановки в тропиках (Corbel, 1959). В умеренном же поясе Евразии, где соответствующие физико-географические условия существовали в палеоген-неогеновое время, подобные формы встречаются только в ископаемом виде и в виде реликтов.

Влияние растительности

В предыдущей монографии (1950, 1954) мы привели довольно обширную литературу, в которой имеются высказывания о роли растительного покрова в развитии карста, иногда противоречащие друг другу. К указанным там работам можно присовокупить и некоторые более новые (Соколова, 1955; Гвоздецкий, 1958; Гвоздецкий и Спиридонов, 1958; Ступишин, 1956, 1967; Соколов, 1962; Колодяжная, 1965, 1967, 1970).

Роль растительности в карстообразовании следует рассматривать в трех аспектах. Во-первых, растительность является важным фактором формирования агрессивных свойств природных вод; во-вторых, это гидрологический фактор, существенно влияющий на поверхностный сток и инфильтрацию атмосферных осадков; в-третьих, это фактор, препятствующий смыву почвы и формированию голого карста.

В первом случае растительность влияет на химические процессы карстообразования, в двух других оказывает физические воздействия. При этом в первом случае растительность, как правило, способствует развитию карста, ее гидрологическое влияние также в основном дей-

ствует в том же направлении, как и усиление агрессивного действия природных вод. В третьем случае растительность является фактором, тормозящим развитие карстовых процессов. Вот откуда происходит то двойственное влияние растительного покрова на развитие карста, на которое указывалось в прежних работах, в том числе и в предыдущей монографии.

Для выявления роли растительности в первом аспекте очень большое значение имеют последние исследования А. А. Колодяжной (1967, 1970).

Прежде всего, растительность экстрагирует из почв и материнских пород огромные массы питательных веществ, включая их в сферу различных химических превращений. Среди экстрагируемых растениями химических элементов основным является кальций, затем магний, калий и др.

Кальций присутствует в опаде и лесной подстилке почти всех растительных сообществ, занимая по количественному содержанию в них первое или второе места. Для экстрагирования кальция, магния, калия и других элементов из почв или карбонатных пород растения непрерывно воздействуют на них вырабатываемыми корневой системой ионами водорода, в результате чего создается кислая среда со значениями pH 2,0—3,5. В этих условиях происходит процесс катионного обмена, в ходе которого корни растений отдают водородный ион, получая взамен ионы кальция, магния и калия. Омывая корневую систему, инфильтрационные воды обогащаются ионами водорода, увеличивая свою агрессивность. Исключительно высокие концентрации водородного иона образуют корни примитивных растений. Некоторые растения для получения необходимого им кремнезема разрушают даже прочные алюмосиликаты.

Растения выделяют также своими корнями углекислоту, количество которой, по данным П. С. Коссовича (1913), достигает от $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{5}$ общего веса растения. Углекислота сильно повышает агрессивные свойства инфильтрационной воды.

Корни растений выделяют различные органические кислоты: щавелевую, глюконовую, лимонную, янтарную, яблочную, молочную и др. Эти выделения повышают способность растений использовать содержащиеся в почве питательные вещества. Значительную роль в процессе питания растений играет находящаяся в корневой зоне

высших растений микрофлора. Основой симбиоза (мутуализма) высших растений с микроорганизмами корневой системы служат, с одной стороны, органические выделения корней и с другой — разные биологически активные соединения, синтезируемые микроорганизмами. Таким образом, содержащиеся в почве карбонаты кальция и магния находятся под непрерывным воздействием не только выделений корневых систем самих высших растений, но и продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Вместе с тем все эти продукты и выделения также попадают в омывающие корневую систему инфильтрационные воды, увеличивая их агрессивность.

Из растений, повышающих агрессивность инфильтрационных вод и усиливающих развитие карбонатного карста, особое значение имеют те, которые потребляют наибольшее количество кальция и магния. По данным М. Е. Ткаченко (1952), к таким растениям относятся бук и ель. Известно, правда, что разные виды ели в хвое и ее опаде содержат весьма различные количества кальция (Глазовская, 1953). Нами наблюдалось весьма интенсивное развитие известнякового карста в буковых лесах южного склона западной половины Большого Кавказа, а также в смешанных и еловых лесах (на Накеральском плато). Обращалось также внимание на повышенную закарстованность известняков в еловом лесу на Ковровском плато (Гвоздецкий и Спиридонов, 1958).

А. А. Колодяжная (1970, стр. 63, 115) указывает на повышение агрессивности инфильтрационных вод хвойной растительностью, произрастающей на кристаллических породах, и приводит данные В. И. Славиковского о накоплении кислотности в почве, из которых следует, что максимальную агрессивность по отношению к карбонатным породам проявляют клен и граб, вызывающие снижение рН атмосферных осадков до 4,3—4,6. Было бы интересно поставить специальное исследование о повышении агрессивности вод осины с ее медленной перепревающей в лесной подстилке листвой. А. С. Козменко (1931) считал осину одной из главных «провалообразующих» пород района карстующихся девонских известняков Среднерусской возвышенности.

Инфильтрационные воды приобретают агрессивные свойства при взаимодействии с лесными подстилками. Разлагаясь, лесная подстилка всегда приобретает повышенную кислотность (рН 3,5—5,6). Наиболее низкое зна-

чение рН у подстилок моховых ельников (подстилка осинового леса не анализировалась).

В результате микробиологического воздействия грибного разложения на лесные подстилки образуются обладающие большой растворяющей способностью органические кислоты. Если в верхнем горизонте почвенного покрова карбонаты отсутствуют, эти кислоты перемещаются током воды в более глубокие горизонты или в коренные карбонатные породы и растворяют их. В процессе разложения лесной подстилки помимо органических кислот формируются угольная, серная и азотная кислоты, также увеличивающие агрессивность инфильтрационных вод.

Агрессивность атмосферных осадков, проникающих через лесные массивы, увеличивается также за счет органических кислот, смол, эфирных масел и различных ароматических соединений, смываемых с листьев, хвои и стволов деревьев (рН дождевой воды снижается до 4,0—4,5).

Роль «лесных растворов» в процессе выщелачивания карбонатных пород выявлена большими экспериментально-лабораторными исследованиями. Основной вывод из проведенных исследований заключается в том, что «растительность способствует формированию агрессивных свойств атмосферных осадков при их взаимодействии с кронами и стволами деревьев и создает кислую среду за счет обменного водорода в зоне корневой системы. Агрессивность атмосферных осадков, стекающих со стволов деревьев, еще более увеличивается при их фильтрации через лесные подстилки» (Колодяжная, 1970, стр. 69).

Можно отметить и некоторые тормозящие стороны влияния растительности на развитие карста в том же ландшафтно-геохимическом аспекте. Например, некоторые растения (желтая акация, бузина и др.) на протяжении всего времени, когда идет процесс разложения опада, подщелачивают атмосферные осадки и настолько, что они полностью теряют агрессивность. Можно еще отметить поглощение растениями громадного количества углекислого газа в процессе фотосинтеза. Суммарное его количество, выделяемое в течение года в процессе дыхания гетеротрофным населением почвы, составляет $63,9 \cdot 10^9$ т, а выделяемое корнями растений — $71,5 \cdot 10^9$ т. Между тем концентрации CO_2 в приземном слое воздуха

в часы фотосинтеза составляет менее 0,03% (*Колодяжная, 1970, стр. 33*).

Растительность как гидрологический фактор имеет существенное значение для развития не только карбонатного карста, но и других его литологических типов. Вопрос о влиянии растительности, и в частности лесной, на сток представляет сложную и до сих пор дискуссионную проблему гидрологии. Следует отметить, что по отношению к карсту этот вопрос должен решаться иначе, чем к территориям с некарстуящимися породами. Дело в том, что пространства голого карста, лишенного почвенно-растительного покрова, обладают очень высокой водопоглотительной способностью и крайне низкими величинами поверхностного стока. Поэтому о том, что лесная растительность увеличивает инфильтрацию атмосферных осадков, можно говорить, лишь сопоставляя лесистые карстовые районы с районами задернованного и покрытого карста (см. гл. VIII), лишенными лесной растительности. Сведение лесов, а также и разрушение травянистого дернового покрова будут способствовать снижению инфильтрации, увеличению поверхностного стока и развитию эрозионных процессов, но лишь до тех пор, пока не окажется денудированным рыхлый (почвенно-элювиальный или иной) покров карстуящихся пород. Как только карстуящиеся породы будут обнажены, опять усилится инфильтрация (воды будут поглощаться трещинами и понорами уже непосредственно в карстуящуюся толщу).

Важное гидрологическое значение имеет не только задержка лесной растительностью поверхностного стока, но и защита почвы в лесу от промерзания, отчего в южной лесной подзоне и лесных участках лесостепи Русской равнины (Среднерусская возвышенность) почва остается непромерзшей до снеготаяния. Это также способствует инфильтрации воды и развитию карстовых явлений, на что справедливо обратил внимание А. С. Козменко (1931).

Лесная растительность, особенно в горных районах и на возвышенностях с расчлененным рельефом, препятствует смыву почв и глинистого элювия с поверхности карстуящихся массивов и образованию мощных струй воды, которые устремлялись бы в углубления карстовой поверхности и промывали бы поноры и трещины на дне. В результате этого поноры и трещины часто закупори-

ваются мелкоземом (в этом случае лесная растительность снижает инфильтрацию атмосферных осадков), развитие поверхностных карстовых форм приостанавливается, несмотря на большие потенциальные возможности, которые определяются значительной мощностью карстующихся пород и тектоническим вздыманием. Это наблюдалось нами в лесных районах Большого Кавказа (Северная Осетия, бассейн р. Хосты). Н. К. Игнатович (1930) указывал на тормозящее влияние лесной растительности в развитии поверхностных форм карста Гагринского района.

Сведение лесной и древесно-кустарниковой растительности приводит из-за усиления эрозионных процессов к оголению карстующихся горных пород и развитию голого карста с карровыми поверхностями. Развитию карров и голого карста способствует также разрушение почвенно-дернового покрова горных лугов неумеренным выпасом скота, полотнами грунтовых дорог.

Влияние почв

О значении почвенного покрова в развитии карста писали А. В. Ступинин (1958, 1967), Д. С. Соколов (1962), А. А. Колодяжная (1965, 1967). Всесторонне и детально этот вопрос рассмотрен в монографии А. А. Колодяжной (1970).

Почвы, обогащенные гуминовыми и другими органическими кислотами, углекислотой, обменным водородом, алюминием и т. д., играют значительную роль в увеличении кислотности инфильтрационных вод и формировании агрессивных подземных вод.

Для растворения горных пород необходимо, чтобы растворенные вещества удалялись из сферы происходящей реакции. Это возможно при поступлении и передвижении ненасыщенных растворов, осаждении ионов в виде нерастворимых соединений, удалении ионов из раствора путем адсорбции и ассимиляции их растениями, живыми организмами, коллоидными веществами и т. п. Эти процессы активно проявляются в почвенном покрове и при воздействии кислых почвенных растворов непосредственно на карбонатные породы.

Кислотность почв определяется рядом факторов, из которых наиболее существенны: наличие в коллоидной

фракции ионов водорода и алюминия, легко подвижных в условиях обменных реакций; присутствие в газовой фазе почв CO_2 , возникающей при биохимических процессах и разложении в кислой среде карбонатов; наличие в почве органических кислот — гуминовых и фульвокислот, щавелевой, муравьиной, уксусной и др.; наличие минеральных кислот — соляной, серной, азотной и т. д., — образующихся в почве при окислении минералов, катионном обмене и биохимических процессах.

Наиболее интенсивно увеличивается агрессивность инфильтрационных вод при их прохождении через кислые почвы. pH кислых почв колеблется в пределах 2,2—5,8 (тундровые — 2,2—3,6; горнотаежные — 3,0—4,4; подзолистые — 3,8—5,4; болотные — 3,5—4,8; красноземы 4,8—5,8 и др.). Проникая в зону аэрации через кислые почвы, дождевая вода приобретает агрессивность за счет обменных ионов водорода и алюминия, сохраняя ее до соприкосновения с карбонатными породами.

В зависимости от минерального состава коллоидной фракции почвы обменные реакции происходят с различной скоростью и могут форсировать, в частности, формирование разной концентрации ионов водорода, способных к обменной реакции и растворению карбонатных пород.

В процессах формирования почвенной кислотности особое значение имеют гумусовые и органоминеральные вещества. Активно участвуя в обменных реакциях, они создают с ионами кальция нерастворимые соли — гуматы. В составе гумуса иногда преобладают фульвокислоты, имеющие резко выраженную кислую реакцию (pH водного раствора 2,6—2,8).

Для формирования кислотности инфильтрационных вод существенное значение имеет и газовая фаза почвы. В почве непрерывно, особенно в период вегетации растений, идет образование CO_2 . Оно связано с разнообразными реакциями и процессами: взаимодействием кислых растворов с карбонатами (почвы), гниением органического вещества, дыханием корней растений, окислением минеральной части почвы и т. д. В теплое полугодие содержание углекислого газа в почвах во много раз выше, чем в атмосферном воздухе. Растворяя углекислый газ, инфильтрационные воды образуют в почвенном растворе угольную кислоту.

Кислотность инфильтрационных вод определяется также наличием в почвах минеральных кислот (серово-

дородной, сернистой и серной), образующихся при окислении сульфидных минералов. Формирование свободной серной кислоты происходит и за счет соединений серы в почве. Сера может концентрироваться в верхних горизонтах почвы в результате аккумулярующей деятельности растений. При разложении растительных остатков происходит образование сероводорода, который в аэробных условиях окисляется в серу и серную кислоту. Источником серы могут быть также остатки животных и микроорганизмов, белковые вещества которых легко гидролизуются. В 1 г почвы содержится микроорганизмов (включая бактерии, актиномицеты и грибы) от 5 млн. (в тундре) до 7,5 млн. (в бурых почвах). Поэтому микробиологический фактор, вероятно, имеет существенное значение в накоплении серы.

В формировании почвенной кислотности в некоторых случаях может принимать участие азотная кислота. Для этого необходимо присутствие нитритных бактерий, которые воздействуют на минеральную часть почвы, используя ее как субстрат для формирования белкового вещества. Процесс этот происходит при окислении аммиака до солей азотистой и затем азотной кислоты. Появление в почвенном растворе соляной кислоты обычно связано с катионным обменом при наличии нейтральной соли. На морских побережьях, где атмосферные осадки содержат повышенное количество хлористого натрия, формирование кислотности почв может происходить в результате обменной реакции инфильтрационных вод с почвой. Вступление хлористого натрия в катионный обмен с почвой приводит к образованию соляной кислоты.

На Русской равнине агрессивность почвенных растворов изменяется в связи с закономерностью широтной зональности. Наиболее агрессивные растворы (рН 3,0—3,5) формируются в Большеземельской и Малоземельской тундрах. К югу агрессивность почвенных растворов постепенно убывает (до значений рН 6,5—8,0). В горах Кавказа и влажных субтропиках Закавказья она опять увеличивается.

Почвы, богатые гумусом и не имеющие кислой реакции, также оказывают влияние на формирование агрессивности инфильтрационных вод и развитие карбонатного карста. Атмосферные осадки приносят с собой большое количество кальция (на территории Европейской части СССР и Кавказа до 3—8 т/кв. км в год). Прони-

кая через гумусовый горизонт почв, они теряют ионы кальция и магния на образование гуматов, из-за чего инфильтрационная вода увеличивает агрессивные свойства по отношению к карбонатным породам. Одновременно с накоплением солей гуминовой кислоты изменяется структура почвы, увеличивается ее агрегатность, и поэтому улучшается фильтрационная способность. Широкое развитие карбонатного карста в центральных черноземных областях и прочих районах с богатыми гумусом почвами А. А. Колодяжная (1970) считает результатом воздействия этих процессов.

Значение животных организмов

Значение животных организмов менее существенно, чем значение высших и низших растений и микроорганизмов, но и его нельзя полностью игнорировать. Почвенные беспозвоночные выделяют в процессе дыхания по всей земной поверхности за год $3,7 \cdot 10^9$ т CO_2 (Колодяжная, 1970, стр. 33). Это число хотя значительно менее количества CO_2 , продуцируемого бактериями ($51,4 \cdot 10^9$ т) и грибами ($8,8 \cdot 10^9$ т), но в абсолютном значении все же немалое.

Деятельность сверлящих моллюсков в полосе морского прибрежья приводит к разрушению карбонатных пород. Их механическое воздействие сопровождается химическим растворением (под влиянием выделяемой особыми железами кислоты, причем Са и Mg усваиваются из раствора для построения раковин). В породе возникают макропористость и неправильные трубчатые отверстия (Колодяжная, 1965).

Для инфильтрации осадков известное значение имеет разрыхление почвы копытными животными и различными землероями. Большую роль играют сельскохозяйственные животные, разбивающие дерн и почву при умеренном выпасе, уничтожающие растительность, но это уже больше относится к теме следующего раздела.

Влияние человеческой деятельности

Вопрос о влиянии человеческой деятельности на развитие карста довольно широко рассматривался на примере об-

ластей голого карста Средиземноморья. Еще в конце прошлого столетия А. И. Воейков писал о том, что широкое развитие голого карста в Средиземноморье — известковой пустыни в буквальном значении этого слова — определено не одними климатическими условиями. «Она образуется там, где порода — крупнозернистый известняк и естественная растительность истреблена человеком...» (разрядка наша. — Н. Г.). «Но там, где дожди сколько-нибудь обильны и растительность не истреблена человеком (разрядка наша. — Н. Г.), — там растут густые леса, и хотя мало родниковой воды, но существует густой растительный перегной, и, при некоторой осторожности, подобные страны поддаются и земледелию, — но только при известной осторожности; иначе перегной быстро вымывается, обнажается крупнозернистый известняк — и страна превращается в пустыню». Истрия, Далматия, Герцеговина и Черногория на громадных пространствах заняты такими известняковыми пустынями, отмечает А. И. Воейков. «Но история показывает... — продолжает он, — что здесь существовали густые леса и что некоторые из них были вырублены не далее как в XV и XVI столетиях, на потребности венецианского флота. Это особенно касается Далматии и соседней части Герцеговины. Затем лесные пожары и неосмотрительные пастбища довершили остальное» (Воейков, 1894, стр. 19—20).

Среди прочих карстовых районов Югославии мне пришлось побывать в Попово поле. Его северо-восточный борт представляет почти голый откос из слоистых известняков. Прежде на этом борту поля рос лес, который свели венецианцы на постройку кораблей. В Боснии и Герцеговине много лесов было уничтожено во времена турецкого господства.

У. М. Дейвис отметил, что те участки голого карста Адриатического побережья, на которых прекращается выпас скота, сами, без вмешательства человека, покрываются древесной растительностью. В 1899 г. он обследовал огороженный от выпаса заповедный участок, который в течение 20 лет зарос различными деревьями (Davis, 1930, p. 530).

Особенно пагубно на древесно-кустарниковую растительность действует выпас коз. В 1948—1949 гг. выпас коз в карстовых районах Югославии был запрещен, и, посещая эти районы в 1965 г., мы были немало удивле-

ны зеленою деревьев и кустарников, одевших и знаменитое плато Крас (Карст) и многие районы Динарского Карста. На основании знакомства с классической литературой нам эти территории представлялись гораздо более голыми.

Сведение лесов и поедание скотом древесных побегов, мешавшее возобновлению леса, явилось причиной безлесия некоторых участков яйл Горного Крыма и развития на них голого карста (*Крубер, 1915*, стр. 299; Вульф, 1925). Обезлесены многие предгорные известняковые гряды в окрестностях Сухуми и более отдаленных от него районах Сухумской Абхазии с карстовыми ландшафтами. При неумеренном выпасе скота легко разрушаются черноземовидные горнолуговые почвы на более высоких известняковых хребтах Большого Кавказа (это показано на примерах хребтов Охачкуэ южного склона западной половины Большого Кавказа и Андийского восточной половины северного склона). В этом случае также могут образоваться бесплодные каменистые пространства голого карста.

Рассмотренный здесь материал важен для понимания развития голого карста во многих прежде облесенных или задернованных местностях. Он важен и при прогнозировании развития географической среды под влиянием человеческой деятельности. Это один из основных аспектов проблемы охраны природы в районах карстующихся горных пород.

Развитие промышленного производства дало новый аспект проблеме влияния антропогенных факторов на развитие карста. Например, широкое развертывание промышленности в Европейской части СССР привело к формированию локальных очагов накопления агрессивных компонентов в атмосфере и метеорных водах. Атмосфера загрязняется газовыми и дымовыми отходами, которые содержат углекислый газ и другие компоненты, повышающие агрессивность метеорных вод. Почвы, поверхностные и подземные воды загрязняются твердыми и жидкими химическими отбросами, которые накапливаются в отстойниках, приуроченных к естественным понижениям в рельефе. Сток технических кислых вод проникает в зону аэрации и водоносные горизонты через поглощающие колодцы, лишенные облицовки дренажные канавы и т. д.

Попадая в карстующиеся толщи карбонатных пород,

промышленные стоки оказывают дополнительное выщелачивающее действие, иногда во много раз большее, чем первоначальное действие незагрязненных вод. Во всех районах, где расположены промышленные предприятия, которые выбрасывают агрессивные технические воды, наблюдается повышение интенсивности карстовых процессов. Агрессивность стоков зависит от вида производства и специфики технологического процесса.

За пределы шахтных полей выбрасываются стоки шахт сульфидных и обогащенных сульфидами месторождений. В связи с наличием свободной серной кислоты рудничные воды в большинстве случаев имеют низкие значения pH — до 2,5—2,2 и ниже. Промышленные стоки с аналогичными значениями pH выбрасывают обогатительные фабрики.

Особенно высока степень агрессивности шахтных вод Донбасса, Мосбасса, Кизеловского угольного месторождения на Урале. Шахтные воды Кизеловского каменноугольного бассейна с высшей степенью агрессивности (pH 1,0—2,0) сбрасываются в реки, которые нередко протекают по закарстованному ложу, уводящему агрессивные поверхностные воды в глубину. Непосредственное поглощение кислых рудничных вод карстовыми воронками, понорами и сухими логами неоднократно наблюдалось в районе месторождений горючих сланцев Прибалтики.

При грануляции шлаков на металлообрабатывающих предприятиях формируются стоки, содержащие серную кислоту. Высокой агрессивностью из-за свободных кислот обладают воды травильных цехов. Воды с резко выраженными агрессивными свойствами сбрасываются химическими кислотными заводами. Свободные кислоты, хлор, фенол и другие вещества содержат промышленные стоки анилино-красочных предприятий. Резко агрессивные промышленные стоки дают коксохимические и газовые заводы.

В очагах подземной газификации углей и сланцев при горении образуются фенольные вещества, поступающие в подземные воды, а из сернистых газов и окиси углерода образуются серная и угольная кислоты, также усиливающие агрессивность подземных вод. Эти очаги нередко приурочены к толщам карстующихся известняков (Тула, Лисичанск, эстонские горючие сланцы). Яркие агрессивные свойства имеют промышленные стоки

нефтеперерабатывающих заводов, на которых обработка нефти производится при помощи серной кислоты. Велика агрессивность вод газогенераторных станций (работающих на буром угле — за счет сернистых соединений и сульфатов, работающих на торфе — за счет органических кислот и сероводорода). Заводы, вырабатывающие суперфосфаты, дают сильно агрессивные воды с минеральными кислотами. Агрессивные воды с органическими веществами, хлором, сероводородом и минеральными кислотами дают различные текстильные предприятия. Органическими кислотами, сульфатами и сероводородом обогащены промышленные стоки сахарных, крахмало-паточных и молочных заводов.

Обобщив имеющиеся данные о стоках промышленных предприятий, А. А. Колодяжная (1970) делает заключение, что в составе промышленных стоков могут содержаться серная, соляная, азотная, фтористоводородная, уксусная, сахарная кислоты и много других веществ, создающих агрессивные свойства растворов.

Газовые компоненты, загрязняющие воздух в промышленных районах, — хлор, фтор, сернистый газ, сероводород и др. — создают ядра конденсации, формирующие агрессивные атмосферные осадки. По своему химическому составу они близки к осадкам, выпадающим в районах действующих вулканов.

В связи со всем сказанным мы сталкиваемся с новым аспектом проблемы охраны природы. Охрана вод (поверхностных и подземных) от промышленных стоков — это борьба не только с источниками загрязнения, но и с источниками агрессивности растворов, «разрушающее действие которых на карбонатные породы во много раз сильнее всех природных растворов» (Колодяжная, 1970, стр. 129). Этот аспект необходимо иметь в виду и при охране от загрязнения атмосферного воздуха.

В районах разработки месторождений полезных ископаемых и в больших городах интенсивные водозабор и откачка подземных вод усиливают водообмен и развитие карста, нередко проявляющееся на поверхности в виде провалов и суффозионного процесса «просасывания» рыхлых поверхностных отложений в карстующийся цоколь (Колодяжная, 1970; Котлов, 1963).

Несмотря на локальное действие антропогенного фактора, он оказывает весьма существенное влияние на ход карстовых процессов и развитие карста.

Поверхностные карстовые формы

Общие замечания о генетической классификации поверхностных карстовых форм

Д. С. Соколов (1962) все карстовые формы разделил на две категории: карстовые формы в растворимых породах и карстовые формы в породах, покрывающих закарстованные толщи растворимых пород или прилегающих к ним. Это разделение весьма интересно, но мы не идем по предложенному Д. С. Соколовым пути главным образом по двум соображениям.

Первое соображение заключается в том, что мы хотим подчеркнуть общность специфики карстового рельефа, свойственную всем основным морфолого-генетическим типам карста (см. гл. VIII), за исключением останцового тропического и погребенного.

Специфика карстового рельефа заключается в преобладающей роли замкнутых отрицательных форм рельефа. Карстовый рельеф в первую очередь является ванновым рельефом, что показали в своих классических работах А. Пенк (Penck, 1894, раздел «Wannen im Bereiche durchlässiger Gesteine»), Й. Цвийич (Cvijić, 1893)¹ и И. С. Шукин (1933, стр. 330).

Эта специфика обусловлена возможностью выноса с земной поверхности подземным путем через карстовые каналы продуктов растворения и размыва горных пород, причем выносимые продукты могут находиться в растворенном, взмученном, взвешенном состоянии и даже в виде крупных обломков. Именно наличие карстовых каналов в толщах растворимых горных пород определяет специфику карстового рельефа поверхности. Все замкну-

¹ «Im Gegensatz zu den *Tahllandschaften* sind also Karstgebiete *Wannenlandschaften*» (S. 283 (67)) (В противоположность долинным ландшафтам карстовые области являются, следовательно, ванновыми ландшафтами).

тые формы рельефа областей, где на поверхности или близ поверхности залегают растворимые горные породы, являются карстовыми (о карстовых формах двух категорий пипег и Д. С. Соколов). Способ же моделировки самых отрицательных форм поверхности (ванн в широком смысле) мы ставим на первый план, определяя генезис различных форм.

Второе наше соображение связано с тем, что не только ванны, образовавшиеся путем вмывания рыхлых покровных или примыкающих отложений в полости и каналы карстующегося цоколя (вторая категория Д. С. Соколова), не обусловлены непосредственно выщелачиванием. Провальные формы — воронки, котловины и даже иногда поля — как поверхностные формы карста тоже не являются формами выщелачивания, а произошли за счет действия силы тяжести и в такой же мере являются гравитационными, как формы второй категории Д. С. Соколова — суффозионными и эрозионными. При этом не так уж существенно, обвалилась ли в подземную полость одна лишь карстующаяся порода, или вместе с покрывающим ее дерном, либо с покровными отложениями, или же одни покровные отложения, рыхлые и даже скальные.

Можно было бы расчленить на первом этапе все поверхностные карстовые формы на формы выщелачивания, суффозионно-эрозионные и гравитационные (провальные), в зависимости от способа возникновения и моделировки их как поверхностных образований. Но мы, как и прежде (1950, 1954), аналогичные формы разного генезиса, свойственные различным морфолого-генетическим типам карста, объединим вместе.

Карры

Эти микроформы, а в некоторых случаях и мезоформы карстового рельефа свойственны только типам карста, в которых карстующиеся породы выходят непосредственно на поверхность или задернованы лишь частично. Правда, развитие карров может идти под почвенно-дерновым покровом, а также и под элювиальными образования (Барков, 1938; Bauer, 1958; Cvijić, 1924; Davis, 1930), но, пока почвенный покров не удален какими-либо денудационными процессами и карстующиеся породы с этими каррами не выведены на поверхность, они не

являются формами рельефа. А. А. Крубер (1915) и Н. И. Николаев (1946) рассматривали карры как элементарные, исходные формы, из которых в процессе эволюции возникают воронки, поноры, колодцы и другие формы карста. Но мы уже показали (1954), что исходными для образования таких форм, как часто и для карров, являются трещины. Эволюция же карров идет, как правило, по пути расширения карровых борозд с одновременным разрушением разделяющих их карровых ребер и запол-

нения борозд остаточными образованиями (Свијић, 1924). И. С. Шукин (1940) рассматривает карры как мелкие отрицательные формы типа долин. Карры в основном являются субэдральными образованиями, но возникают также в речных руслах и на морских побережьях. В речных руслах мы наблюдали карры в долинах р. Риони в г. Кутаиси, р. Катунь на Алтае и р. Неретвы в г. Мостаре (Югославия. Гвоздецкий, 1970).

Каррам посвящена специальная литература (Барков, 1938; Свијић, 1924; Bögli, 1960), их типы и особенности рассматриваются также в учебных пособиях по геологии и геоморфологии (Шукин, 1964 и др.), обобщающих монографиях о карсте (Зайцев, 1940; Гвоздецкий, 1950, 1954; Максимович, 1963; Kunský, 1950) и в многочисленных региональных работах.

Мелкими формами, настоящими микроформами карста, которые часто называют микрокаррами, являются желобковые карры (Rillenkarrgen, по А. Бёгли). Они возникают на крутых известняковых откосах в виде мелких и узких (обычно 2—3 см) параллельных желобков, ориентированных по падению откоса и разделенных резкими ребешками (рис. 10, 38). Это чисто поверхностные образования, которые не связаны с трещинами. Растворение породы и удаление растворенного вещества осуществляются быстро стекающими по крутой поверхности струйками воды, когда успевают проявиться лишь три первые фазы растворения известняка (по А. Бёгли, см. гл. III).

Прекрасные фотографии желобковых карров помещены в работах А. Бёгли (Bögli, 1960, Abb. 1, 5, 9), Й. Кунского (Kunský, 1950), Б. Жеца (Gèze, 1965). Они характеризуют участки голого карста в известняковых Альпах (Бизисталь, Дахштейн) и в Югославии. Нам также приходилось наблюдать этот тип карров во многих рай-



Рис. 10. Желобковые карры на известняковой глыбе возле Шкоцианской пещеры в Югославии (для масштаба — полевой дневник 15 на 10 см).

Фото Н. А. Гвоздецкого

онах Югославии: у пещеры Липишка Яма в Классическом Карсте, возле Шкоцианской пещеры (рис. 10), на северном борту долины р. Зрмаия в районе Задара, в горном проходе между хребтами Козьяк и Мосор в районе Сплита, при спуске в Попово поле со стороны Адриатики у селения Завала (Гвоздецкий, 1970), в Черногории, а у нас в СССР — в Горном Крыму, в Горном Алтае (рис. 38) и даже на Восточном Памире, по левому берегу долины Карасу в бассейне Мургаба у тракта Ош — Хорог. Желобковые карры, совершенно аналогичные развивающимся в известняках, встречаются и на крутых откосах поверхности каменной соли, например на Солотвинском куполе в Закарпатье (Дзенс-Литовский, 1966).

Рис. 11. Желобковые карры на бортах бороздчатых и лунковых карров (для масштаба — горный компас). Известняковые скалы Белого Борма в Горном Алтае

Фото
Н. А. Гвоздецкого



Желобковые карры часто развиваются на бортах других типов карров — бороздчатых и лунковых (рис. 11), каменницах (Bögli, 1960, Abb. 9), а также по бортам более крупных углублений карровой поверхности.

Сходными с желобковыми каррами, но значительно более крупными являются почти вертикальные борозды и желоба стенных карров (Wandkarren, по Бёгли). Отсутствие постепенных переходов между желобковыми и стенными каррами указывает на разницу в их образовании: стенные карры образуются с участием четвертой фазы растворения известняка.

На сглаженных известняковых поверхностях встречаются своеобразные микроформы в виде небольших сферических углублений — лунковые карры. Очень оригинальные карры такого типа наблюдались нами в Горном Алтае на скалах Белого Борма в долине р. Чуи (рис. 12). Они представляют собой сферические (полусферовидные) углубления диаметром около 6 см, как бы отпечаток от



Рис. 12. Лупковые карры на известняковых скалах Белого Бёма в Горном Алтае (для масштаба — горный компас).

Фото Н. А. Гвоздецкого

шара величиной с теннисный мяч. Глубина их — 1—2 см (от пониженного края). Располагаются они одиночно, группами и часто цепочками (очевидно, вдоль волосных трещин), которые направлены прямо вниз по падению поверхности или несколько наискось. Иногда лупки приобретают вытянутую, овальную форму.

Циркообразная форма присуща каменицам — бассейнообразным углублениям с плоским днищем (Щукин, 1964; Bögli, 1960), а также каррам в виде следов (Trittkarren, по А. Бёгли), которые представляют собой циркообразные углубления, открытые вниз по падению ступенчатой поверхности склона, и напоминают отпечатки лошадиных копыт. Часто по несколько таких углублений сливаются своими краями, и тогда получается форма, напоминающая след большой ступни с короткими пальцами.

Обычными формами, развивающимися, как указывает А. Бёгли, под действием всех фаз растворения известняка, включая четвертую, являются бороздчатые карры



Рис. 13. Трещинные карры на горе Дурмитор. Динарский карст, Югославия.

Фото Д. Симоновича

(Rinnenkarren) и трещинные карры (Kluftkarren, рис. 13). Образование этих, как и некоторых других, типов карров происходит на более пологих поверхностях, где вода стекает медленнее, где имеет значение площадное увлажнение дождем, осуществляется действие вод, высачивающихся из пятен гумусовой почвы, талых снеговых вод и т. д. В Альпах трещинные карры часто закладывались до наступления последнего (вюрмского) оледенения. В этом случае карровые ребра срезаны поверхностями, отшлифованными вюрмским ледником. В условиях высокогорья трещинные карры могут достигать гигантских размеров, представляя собой уже формы мезо-, а не микрорельефа. Карровые борозды приобретают характер прямолинейных ущелий от 5 до 15 м глубиной и до 3—4, а то и до 25 м шириной при длине в несколько сотен метров (Cholley, 1923; Bögli, 1964; Corbel, 1956; Гвоздецкий, 1965). Гигантские трещинные карры встречаются иногда и в среднегорье, например в Дагестане,

где они представляют собой явно реликтовые образования (Еременко, 1969).

Бороздчатые карры увеличиваются в размерах вниз по склону в связи с увеличением количества стекающей воды. Бороздчатые карры извилистой в плане формы называют меандровыми, или меандрирующими (*Mäanderkarren*). Меандрирующие карры в отличие от бороздчатых не увеличивают сечения вниз по склону из-за снижения растворяющей способности воды вследствие насыщения и уменьшения ее количества за счет испарения (*Щукин, 1964; Bögli, 1960*), поскольку, очевидно, в меандрирующих каррах вода стекает медленнее, чем в бороздчатых. Меандровые карры могут развиваться у фронтальной зоны ледников посредством врезания выцелачивающих известняки меандрирующих ручьев (*Corbel, 1957*).

По характеру гребней, разделяющих карровые борозды, различают округлые карры (*Rundkarren*) и резкие, пикообразные карры (*Spitzkarren*). Последние встречаются как в известняковых областях высокогорья, например в известняковых Альпах Швейцарии на высоте 2200 м (*Bögli, 1960*), так и в тропиках Южного Китая и Индокитая (*Cuisinier, 1929*). Резкие карровые ребра, пики и зубья характерны для голых поверхностей соляного карста (*Дзенс-Литовский, 1966; Короткевич, 1970*).

В гипсовом карсте встречаются очень своеобразные трубчатые карры, наблюдавшиеся нами на северном склоне Большого Кавказа (*1954, стр. 165*).

Некоторые типы карров и их морфологические особенности возникают под действием биогенных процессов в почве, залегающей пятнами среди карровых поверхностей и заполняющей карровые борозды и трещины.

Польский исследователь А. Котарба (1970) для известняковых Западных Татр выделяет три основных типа карров: стоковые карры, к которым относятся как мелкие желобковые карры, так и карровые борозды шириной до 0,5 м и глубиной до 1 м, имеющие форму желобов, ориентированных по падению откоса; трещинные карры; эвугационные карры, образующиеся в результате растворения породы под действием воды, капающей со снежных покровов непосредственно на ее поверхность (Котарба сопоставляет их с *Trittkarren*). Стоковые карры он подразделяет на: образованные водой атмосферных осадков; образованные талыми снеговыми водами; возник-

шие под действием талых вод и вод атмосферных осадков, просачивающихся через почвенно-растительный покров; такие же, но вторично переформированные под действием свежих талых вод. Возникновение последних связывается с тем, что в период термического оптимума границы высотных зон были выше (верхняя граница леса была выше современной на 300—350 м), а затем снизились. Распространение разных типов и подтипов карров в Западных Татрах, по А. Котарбе, связано с высотной зональностью.

Карстовые желоба и рвы

Карстовые желоба и рвы (глубже, чем первые, и обязательно с крутыми бортами) развиваются вдоль раскрытых тектонических трещин и тянутся на десятки, а иногда и на сотни метров, достигая различной ширины и глубины. Они замкнуты на концах, на дне могут иметь многочисленные углубления. Часто они приурочены к тектоническим трещинам, раскрытым в результате разгрузки на крутых склонах, а также к трещинам отседания, или «бортового отпора». Карстовые желоба и рвы наблюдались нами в юрских, отчасти меловых известняках, доломитах и гипсах южной части Минераловодского района Северного Кавказа (1964), а также в кембрийских известняках и доломитах Приангарья.

Прямолинейные карстовые рвы с отвесными стенами, развитые по тектоническим трещинам, многочисленны в голом карсте Югославии. Там они известны под именем богазов¹ и под другими местными названиями (Милойевич, 1938). Длина их составляет несколько десятков, а то и более сотни метров, ширина обычно 2—4 м, глубина редко превышает 4—5 м. Дно покрыто мелкоземом и задерновано. При частом расположении они напоминают широкие борозды гигантских трещинных карров, но менее глубоки и дики (из-за задернованности аккумулятивных днищ), чем в высокогорье.

¹ Слово «богаз» вошло в карстоведческую литературу как термин, обозначающий карстовые желоба и рвы, т. е. вытянутые карстовые впадины вообще.

Воронки

Нами выделены три основных генетических типа карстовых воронок — поверхностного выщелачивания, провальные, просасывания — и дополнительно — переходный тип между воронками просасывания и провальными, а также более редко встречающийся тип воронок, разработанных действием восходящих источников (Гвоздецкий, 1954). Ж. Корбель (Corbel, 1957, p. 487) также выделил три основных генетических типа воронок («дóлин»), аналогичных нашим. Г. А. Максимович (1963) выделил десять типов, но думается, что многие из них следует отнести не к числу основных типов, а к переходным.

Воронки *поверхностного выщелачивания*, или чисто *коррозионные*, образуются за счет выноса через подземные каналы выщелоченной на поверхности породы в растворенном состоянии. Устья выводящих каналов открываются на дне воронок в виде понор и трещин, если они не прикрыты продуктами разрушения бортов и мелкоземом. Выщелачивание осуществляется стекающими по бортам дождевыми струями и водами плоскостного и струйчатого поверхностного стока, которые даже в голом карсте, а тем более в частичку задернованном, соприкасаясь с почвой и растительностью, приобретают дополнительную агрессивность. Большую роль играют талые снеговые воды.

Роль талых снеговых вод в образовании воронок поверхностного выщелачивания увеличивается с возрастанием абсолютной высоты местности. Еще Й. Цвийич (Cvijić, 1893) обратил внимание на громадное значение снега в образовании воронок высокогорного карста Адриатического побережья, северных и южных известняковых Альп, назвав такие воронки («дóлины») — Schneedolinen, т. е. снежными «дóлинами» (воронками). Талым снеговым водам принадлежит весьма существенная роль и в формировании воронок среднегорья.

С затененной стороны снег тает медленнее, и талые воды оказывают более длительное корродирующее воздействие, отчего воронка приобретает асимметричную форму. В других случаях асимметричная форма может быть связана с наклонным залеганием слоев. Крутые скалистые борта воронок этого типа бывают изборозжены каррами (рис. 14). Если воронки развиты в слоистых



Рис. 14. Крупная воронка поверхностного выщелачивания на крымской Яйле. Воронка асимметричной формы из-за наклонного залегания слоев. Крутой борт изоборожен каррами.

Фото Н. А. Гвоздецкого

и сильно трещиноватых известняках, то форма их может быть весьма сложной (Гвоздецкий, 1954).

Провальные воронки, или *гравитационные*, образуются путем обвала свода подземной полости, возникшей за счет выщелачивания карстующихся пород на глубине и выноса вещества в растворенном состоянии. Обрушившийся материал заполняет низ полости. Глыбы карстующихся пород могут там растворяться с выносом вещества в растворенном состоянии, покровные рыхлые отложения могут быть вынесены через подземные карстовые каналы механическим путем, но для эволюции провальной воронки как поверхностной формы карста большее значение имеет разрушение бортов, и за счет него аккумуляция на дне может преобладать над выносом.

В голом карсте провалом может быть захвачена только карстующаяся порода, в карсте с задержанием вместе с ней проваливается почвенно-дерновый покров. Там, где



Рис. 15. Провал близ Памирского тракта в районе северного склона Заалайского хребта.

Фото Н. А. Гвоздецкого

карстующиеся породы покрыты нерастворимыми горными породами, рыхлыми или твердыми (скальными, полускальными), вместе с карстующимися породами проваливаются или оседают и эти покровные образования (или же только они одни, если полость образовалась непосредственно под ними). Во всех этих случаях образуются разновидности форм общего генетического типа. К ним мы отнесим и выделенные Г. А. Максимовичем (1963) коррозионно-провальные и коррозионно-просадочные воронки в чистом виде, но они часто образуют переходные (промежуточные) формы с воронками просасывания.

Покровные образования, оседающие с кровлей полости, могут быть и морскими, и континентальными самого различного генезиса вплоть до вулканических (см. раздел «Бронированный карст...», гл. VIII). На фото (рис. 15) изображен редкий случай образования провала вследствие обрушения участка каменистой осыпи в возникшую под ней полость в гипсах.

Первоначально борта у провальной воронки бывают резкими, и такими они остаются надолго в случае образования провала в самих карстующихся толщах или в



Рис. 16. Борт провала Рысник в Югославии возле селения Дивача.

Фото Н. А. Гвоздецкого

твердых породах покрова. В рыхлых же покровных породах борта провала начинают быстро разрушаться и за счет этого выполаживаться. Воронка расширяется, приобретает конусовидную форму, причем диаметр ее может намного превышать диаметр подземной полости, вызвавшей обрушение (Гвоздецкий, 1954). Особенно часто это наблюдается в рыхлых гипсоносных толщах — красноцветах титона на северном склоне Большого Кавказа, кембрия в Приангарье и Приленье, красноцветах и пестроцветах перми на востоке Русской равнины и в Предуралье и пр.

Карстовые воронки провального генезиса могут достигать больших размеров. Так, провал Кёль-Кетчхен близ долины Черска, на северном склоне Большого Кавказа, имеет в плане размеры 400 на 200 м и 177 м глубины. Диаметр провала Рысник в Югославии (на юго-восточном краю плоскогорья Крас, у селения Дивача) 200 м, а глубина 80 м (рис. 16). Даже в платформенных условиях провалы достигают 100—250 м диаметром и 25—30 м и более глубиной. Такие провалы описаны нами

в одном из приокских районов северной части Приволжской возвышенности (Гвоздецкий, 1970).

Возникающие внезапно карстовые провалы часто причиняют большие неприятности и наносят ущерб хозяйству.

Воронки просасывания, или коррозионно-суффозионные (коррозионно-суффозионно-эрозионные), образуются за счет вымывания и проседания рыхлых покровных образований в колодцы и полости карстующегося цоколя и выноса частиц в подземные каналы и через них во взмученном и взвешенном состоянии. То, что материал не оседает только в нижележащих полостях, а выносится и далее, доказывает резкое помутнение после ливней воды карстовых источников, в области питания которых находятся такие воронки (Гвоздецкий, 1964).

Г. А. Максимович замечает, что якобы Ф. П. Саваренский и автор этих строк предполагали, что «формирование этих воронок сводится к простому выносу покровных образований в понор» (1963, стр. 111). Это не совсем так. Для нас всегда была ясна сложность процесса, участие, особенно на первых этапах формирования, процессов подземного оседания, вымывания и выноса покровных образований в полости цоколя, которое сначала приводит к возникновению на поверхности слабых прогибов, куда устремляется поверхностный сток, осуществляющий суффозионный вынос в процессе инфильтрации. Когда воронка уже сформировалась, тогда в ее развитии в большей мере, очевидно, уже участвуют не столько суффозионные, сколько эрозионные процессы, которым дают начало стекающие по ее бортам воды. Они производят как плоскостной смыл, так и частично линейный размыв бортов (рис. 17), унося материал с выходящих бортов в понор. Думается, что и Ф. П. Саваренский (1935) не случайно, вместо того чтобы воспользоваться термином «суффозия», предложил для обозначения процесса возникновения таких воронок новый термин — «просасывание» (очевидно, учитывая сложность процесса), которым мы и воспользовались для обозначения данного типа воронок (Гвоздецкий, 1950, 1954). Некоторые называют эти воронки суффозионными (см., например, Девдарини, 1963), из-за чего может создаться представление о чисто суффозионных (образующихся над суффозионными каналами), а не карстовых формах рельефа. Неудачным мы считаем и предложенный Г. В.



Р и с. 17. Воронка просасывания на дне котловины у перевала Куляк в хребте Петра Первого.

Фото Н. А. Гвоздецкого

Короткевичем, М. С. Кавсеевым и принятый Д. С. Соколовым (1962) термин «карстово-суффозионные воронки», поскольку под «карстово-суффозионными процессами» следует понимать не комбинацию двух разных процессов в доколе и покрове, а совершенно особые процессы химического растворения солей среди рыхлых отложений, а также цемента песчаников и конгломератов с механическим выносом нерастворимых частиц подземным током воды (Гвоздецкий, 1950, 1954). Более приемлем, хотя и не совсем точен, термин «коррозионно-суффозионные воронки», не совсем точен потому, что просасывание — это не только суффозия, а более сложный процесс.

Из всех типов воронок воронки просасывания имеют наиболее правильную коническую форму, поскольку их склоны формируются в рыхлых отложениях. Эта форма осложняется, если поглощение смываемого со склонов материала идет не в одном пункте (отверстии понора), а в линейных или крестообразных трещинных понорах, а также при наличии открывающихся в воронку эрозийно-

ных рытвин и овражков. Комбинация более крупной эрозионной формы с воронкой просасывания дает слепую балку или слепой овраг.

Своеобразны по генезису воронки таких мест, где карстующиеся породы покрыты грубообломочными, например моренными, отложениями. Здесь воронки образуются за счет выноса покровного материала в полости карстующегося цоколя, который осуществляется как путем просасывания, а позднее путем эрозионного вымывания мелкозема, так и путем скатывания вниз вымытых крупных валунов под действием силы тяжести. Подобные формы описаны И. Глажеком (Glazek, 1964) в Высоких Татрах Польши.

Весьма распространенный переходный тип между воронками просасывания и провальными включает формы, образующиеся в результате своеобразного сочетания процесса просасывания и провала (Гвоздецкий, 1954).

Сочетание этих двух процессов показывает и Г. В. Короткевич (1964) при анализе образования воронок, которые он называет карстово-суффозионными. По терминологии Г. А. Максимовича, это, очевидно, будут коррозионно-провально-суффозионные воронки, а в случае, проанализированном Г. В. Короткевичем — коррозионно-суффозионно-провальные (по последовательности действия процессов).

Выделяемые Г. А. Максимовичем (1963) коррозионно-эрозионные, коррозионно-оползневые (и обвальные), коррозионно-провально-эрозионные и коррозионно-эрозионно-суффозионные воронки в покрытом карсте, вероятно, следует рассматривать как разновидности зрелых стадий развития воронок просасывания и провальных. *Коррозионно-эрозионные воронки*, возникающие из поноров на дне логов, могут рассматриваться как самостоятельный тип, наиболее близко стоящий к воронкам поверхностного выщелачивания. При уяснении процесса их образования следует помнить о совместном и взаимосвязанном проявлении в карстующихся породах коррозии и эрозии и о подготовке размыва выщелачиванием породы по спайкам зерен.

Редкий тип воронок образуют воронки, *разработанные действием восходящих источников* (Гвоздецкий, 1954), или коррозионные воронки восходящих источников, по Г. А. Максимовичу (1963).

Сложные ванны и котловины

Воронки всех основных генетических типов, сливаясь своими краями, образуют сдвоенные, строенные и более сложные ванны и котловины. Котловины, значительные по размерам, в Югославии называют *увала*. Выделяют два основных типа увала — сложные, образовавшиеся посредством слияния нескольких крупных воронок (вртача), с рядом углублений на дне и плоскодонные котловины. Котловины могут относиться к типу провальных, просасывания и поверхностного выщелачивания, а также в комбинации с другими процессами, например эрозийным. Крупные котловины поверхностного выщелачивания могут образовываться за счет корродирующего действия талых вод снежных и фирновых пятен (*Гвоздецкий, 1954*). Многие из таких котловин являются наследием перигляциальных условий последней (для определенной местности) ледниковой эпохи.

Поля

Полями называют обширные, иногда громадные котловины (Ливаньско поле и Попово поле в Югославии площадью 379 и 181 кв. км), имеющие характерные гидрографические особенности — реки и ручьи, исчезающие в понорах на дне. Нередко они в значительной части периодически затопливаются и превращаются во временные озера. Термин «поле» произошел от названия таких форм в Югославии, где они очень широко развиты во внутренних районах Словении и в Динарском Карсте. Обычно поля имеют плоское аккумулятивное дно, в незатапливаемой части занятое полями, а в затопливаемой — используемое как пастбище во время сухого сезона (осуществляемое теперь в системе динарских полей гидротехническое строительство приводит к регулированию стока и расширению незатапливаемых пахотных земель). Однако по краям днищ полей, очень часто на обширных пространствах, из-под дерна пастбищ проступают известняки, что свидетельствует о карстово-денудационном происхождении этих краевых равнин (*Гвоздецкий, 1970*).

Борта полей представляют собой откосы соседних горных поднятий и возвышенностей, в большинстве слу-



Рис. 18. Восточный край Ливаньско поля. Видно плоское аккумулятивное дно поля с возделанными полями и карровое поле на борту (передний план снимка).

Фото Н. А. Гвоздецкого

чаев значительной крутизны, но иногда довольно пологие. Во внутренних районах Словении они более (в известняках) или менее (в доломитах) облесены, в Динарском Карсте каменисты, покрыты кустарниковыми зарослями типа шибляка или представляют собой участки голых карровых полей (рис. 18). Котловины полей вытянуты в длину и, как правило, ориентированы по простиранию складчатых структур или тектонических разломов. Нередко они приурочены к осям синклинальных складок.

Поля Динарского Карста расположены как бы этажами одно над другим с повышением гипсометрических уровней днищ от Адриатического побережья в глубь Балканского полуострова. Можно высказать предположение, что это связано со сводовым характером неотектонического поднятия Динарид. Системы разноэтажных полей имеют между собой подземную гидрографическую связь, которая учитывается в практике гидротехнического строительства, использующего этажность в:

расположении польев. Имеются свидетельства разновозрастных этапов разработки полей на фоне тектонических поднятий. Довольно четко эта эволюция прослеживается у Попова поля (Cholley et Chabot, 1930). Первые его исследователи К. Абсолон, И. Цвийич считали, что открывающаяся в борту поля пещера Ветренница прежде выполняла понорные функции. Напротив, С. М. Милойевич (1938) доказывает, что Ветренница прежде служила каналом подземного потока, изливавшегося в Попово поле. Каналы древней циркуляции вод, связанных с полем, имеются и в Грачацко поле (Хорватия) — это верхняя и нижняя Церовацкие пещеры, выполнявшие функции водопоглотительных поноров поля. Эти пещеры, как и соответствующие им этапы разработки поля, считают плиоценовыми (Гвоздецкий, 1970; Guide de l'excursion... 1965).

В формировании югославских полей велика роль тектонической структуры и активных тектонических движений дифференцированного характера, которые, возможно, играли роль в образовании замкнутости котловин (относительное прогибание, т. е. некоторое отставание на фоне общего поднятия, подпруживавшие речной долины тектоническим поднятием — Попово поле, по А. Грунду) (Щукин, 1964). Велика также роль и эрозионно-аккумулятивных процессов. Но в формировании полей несомненно участие не только тектоники и эрозии, но и карстовых процессов, процессов выщелачивания карбонатных пород. У бортов многих полей наблюдаются известняковые равнины, свидетельствующие о расширении полей, росте их в горизонтальном направлении за счет отступления бортов и формирования у их подножий денудационных карстовых равнин (коррозионных поверхностей выравнивания). Они могут находиться и под аллювиальными наносами днищ полей. На этот процесс горизонтального отступления борта поля за счет коррозии и образования педимента перед его бортом обратил особое внимание Г. Луи, исследовавший карстовые поля Тавра в Анатолии. Днища этих полей образованы плоскими аллювиальными конусами (плащ глинистого аллювия препятствует выщелачиванию в глубину), и сами поля рассматриваются как расширенные части долинных систем, растущие за счет растворения краев (Louis, 1956 а, б). Процессы роста денудационных карстовых равнин в горизонтальном на-

правлении наблюдаются в настоящее время в тропических областях известнякового карста. В этой связи нужно отметить, что некоторые исследователи считают поля Динарского Карста в своей основе реликтовыми образованиями, возникшими из более многочисленных древних полъев, на том же уровне, за счет действия эрозионно-коррозионных процессов в эпоху более влажного и теплого климата с более высокой интенсивностью коррозии (Roglic, 1957; *Щукин, 1964*). Если обратить внимание на широкое распространение реликтовых форм тропического останцового карста в Средней и Южной Европе, в том числе и на Балканском полуострове, в самой Югославии, например на востоке Сербии в горах Беяница (см. гл. X), то следует признать не только возможным, но и неизбежным формирование югославских полъев в тропической обстановке, поскольку многие геолого-геоморфологические факты говорят об их дочетвертичном возрасте.

Наряду с этим в формировании аккумулятивных поверхностей на днищах полъев большую роль играли процессы отложения аллювия ледниковых и современной эпох, а в моделировании бортов полъев почти всюду, даже под лесом и под кустарником, испещренных каррами, — современные условия средиземноморского климата.

В СССР поля распространены в горах южных областей: в Горном Крыму (котловина Бештские), на Большом Кавказе (Шаурская котловина, поле Зегвардии, Ахалсопельская котловина, поле в бассейне р. Гумисты — *Гвоздецкий, 1954*, котловина в верховье Джаманкула на северном склоне — *Гвоздецкий, 1967*), на хребте Петра Первого в Средней Азии (котловина у перевала Куляк — *Гвоздецкий, 1960*). С древними погребенными полями отчасти связана бокситоносность юго-западной части Сибирской платформы (см. гл. XIII).

По происхождению до недавнего времени выделяли поля: 1) тектонические, 2) образовавшиеся путем подземного механического выноса нерастворимой породы, залегающей среди карстующихся известняков, 3) образующиеся путем слияния группы смежных воронок и котловин (увала) при их росте в горизонтальном направлении, 4) провальные (*Щукин, 1933, 1964*).

Что касается первого типа, то, на наш взгляд, кот-

ловины чисто тектонического происхождения (грабены, прогибы синклинальных мульд) нельзя считать польями. В областях растворимых пород порожденные тектоникой котловины подвергаются действию карстовых и эрозионных процессов. Коль скоро котловины обладают характерными для полей гидрографическими особенностями, стало быть, есть карстовые каналы — пути подземного выноса вещества в растворенном состоянии и механического выноса осадков. Значит, в их разработке обязательно принимали участие выщелачивание и эрозионные процессы. Следовательно, можно говорить лишь о тектонически-коррозионных и тектонически-коррозионно-эрозионных полях, к которым и относится, вероятно, большая часть полей Югославии, особенно крупных, причем роль коррозионных процессов в их формировании, судя по тому, что было сказано выше, очевидно, велика.

Поля второго типа, по-видимому, гораздо шире распространены, чем это многие себе представляют. Я не могу согласиться и с И. С. Щукиным, когда он пишет, что «к числу бесспорно тектонических полей относятся те впадины, которые захватывают не только область известняков, но и соседние некарстующиеся породы» (1964, стр. 60). Шаорская котловина на южном склоне Большого Кавказа выработана как раз в некарстующихся породах, контактирующих с закарстованными известняками. В отношении ее и расположенного недалеко от нее поля Зе-Гвардии в противовес представлению А. Джанелидзе об их тектоническом происхождении была выдвинута гипотеза выноса «сравнительно легко поддававшихся размыву осадочных толщ, контактирующих с известняком, через подземные каналы» (Гвоздецкий, 1954, стр. 181). Эта гипотеза была поддержана Д. С. Соколовым (1962), а детальные исследования, проведенные в данном районе в связи с гидротехническим строительством, полностью подтвердили наши предположения. Таким образом, Шаорская котловина и поле Зе-Гвардии должны быть отнесены ко второму типу. К нему же относится и Ахалсепельская котловина, днище которой, как и у Шаорской, выработано в некарстующихся породах. Обе эти котловины Д. С. Соколов (1962) называет карстово-эрозионными полями. Таким же, по его мнению, по вскрытым полем, возможно, является и Байдарская котловина в Крыму.

Ко второму типу относятся и некоторые югославские поля, в частности, по исследованиям Д. Космовской-Суфчинской, расположенные в одной тектонической полосе и на одном высотном ярусе (470—490 м) Дабарско, Фатничко и Планско поля в Герцеговине (Kosmowska-Suffczyńska, 1967).

Поля третьего типа обычно небольшие и характеризуются неправильной лопастной формой. Они встречаются даже в платформенных условиях. В горах к этому типу, вероятно, относится крымская котловина Бештекне (*Крубер, 1915*). Поля четвертого типа провальные, тоже сравнительно небольшие и еще более редкие. Одним из крупных и наиболее известных является Раккова долина (Ракбахское поле) в Словении длиной 2,5 км.

Карстовые останцы

Карстовые останцы характеризуют в основном весьма зрелые стадии развития карста. Они очень многочисленны в быстро развивающемся соляном карсте, представляя значительное разнообразие размеров и форм (*Дзенс-Литовский, 1966; Короткевич, 1970*), но в карбонатном карсте образуются главным образом в тропических областях, если не считать мелких останцовых форм разного характера. При этом решающую роль в образовании тропического останцового карста приписывают теплоту тропическому климату с большим количеством осадков (*Wissmann, 1954; Silar, 1963; Glazek, 1970*; см. гл. III и IV).

В тропиках возникают высокие и массивные крутосклошные останцы в виде столбов (рис. 19), конусов, или «сахарных голов», плосковерхих башен с крутыми и отвесными стенами и более мелкие конусообразные формы — моготе (моготами — Mogotentur — называют и вообще крутосклошные конусообразные и куполовидные останцы). Склоны останцов могут быть голыми, изоброжденными желобковыми каррами, либо, несмотря на крутизну, густо одетыми древесной и древесно-кустарниковой растительностью (более частый случай), и тогда на оголенных отвесных участках развиваются степные карры. В обрывистых стенах встречаются гроты,

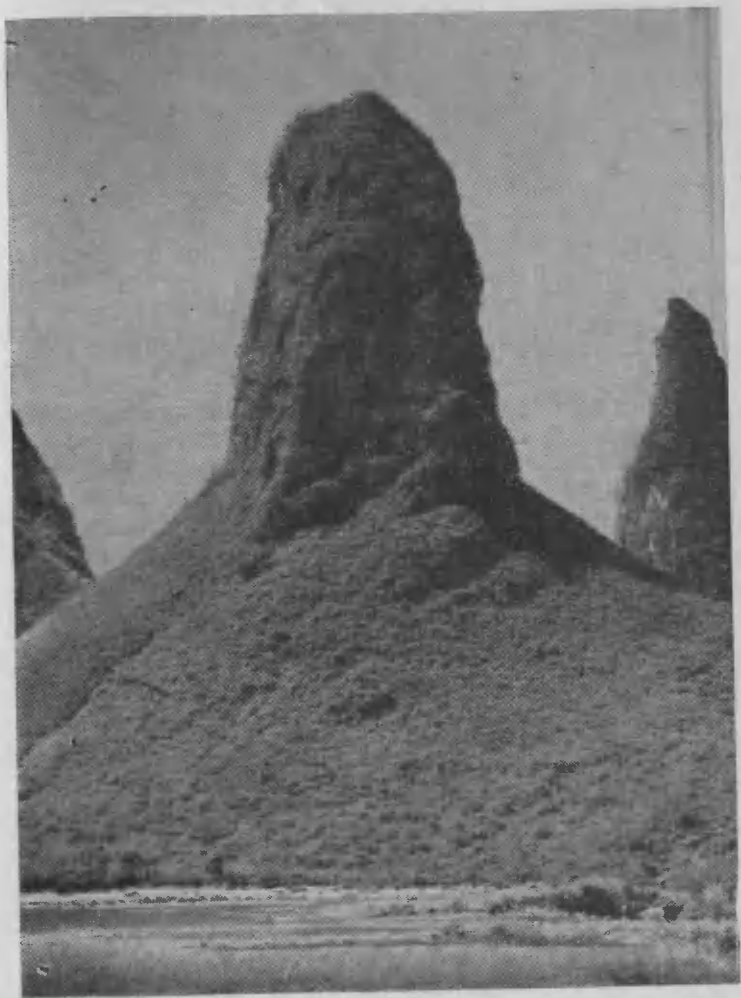


Рис. 19. Останец в тропическом карсте Южного Китая
в окрестностях г. Янсо. Высота останца более 100 м.
Фото В. Г. Лебедева

иногда со сталактитовыми занавесами. Внутри останцы часто бывают пронизаны пещерными ходами. Останцы образуются в чистых массивных известняках (на Новой Гвинее, например, только в коралловых известняках — см. гл. IV), но ископаемые формы типа моготе встречаются также в мраморизованных известняках и мраморах (не могли ли известняки перекристаллизоваться уже после закарстования?).

Единая уровенная поверхность вершин самых высоких, а иногда и почти всех останцов во многих тропических районах свидетельствует о том, что останцы представляют зрелую стадию расчленения приподнятого плосковерхого массива (Teilhard de Chardin a. oth.,

^v1935; Silar, 1963). Встречается по несколько вершинных уровней, свидетельствующих о неоднократных поднятиях (Gellert, 1961; Геллерт, 1966; *Щукин, 1964*). Особенно это заметно у башенного карста (Turmkarst) с останцами плосковерхой формы, представляющего собой менее зрелую форму тропического останцового карста в сравнении с коническим (Kegelkarst). Крутизна склонов останцов связана с вертикальной трещиноватостью известняков и с обычной для них ослабленностью склонового стока из-за водопроницаемости породы. Большую роль играет приводящее к обваливанию по трещинам подтачивание останцов снизу водами, заливающими равнины в их основании, или залегающими у базисной поверхности грунтовыми водами. Из-за этого в основании останцов образуются нишеобразные углубления — коррозионные ниши, пустоты (*Щукин, 1964*;

^vGellert, 1961; Silar, 1963), а невысокие останцы приобретают грибообразную форму (Sunartadirdja u. Lehmann, 1960). Подтачиванию останцов снизу боковой коррозией поверхностных вод способствует накопление на базисной поверхности водонепроницаемых остаточных глин (Glazek, 1970). Встречаются также группы куполовидных останцов со сравнительно некрутыми откосами и сглаженными вершинами (Kuppentyp), подчас даже курганообразной формы, иногда занимающие большие пространства (Sunartadirdja u. Lehman, 1960; Gersten-

^vhauer, 1960; Silar, 1963; *Гвоздецкий, 1954; Щукин, 1964*).
Д. Балаж (Balázs, 1971) выделяет четыре типа останцов тропического карста: янсо (по названию не-

большого города в Южном Китае, для окрестностей которого эти останцы наиболее характерны), органос (по названию гористой местности на Кубе), севу (по наименованию карстового плато на Яве) и туал (по имени небольшого поселения на одном из островов Кай в юго-восточной части Малайского архипелага). Наиболее высокие и крутосклонны останцы типа янсо (рис. 19). Высота их в пределах 100—300 м, отношение диаметра основания к высоте меньше 1,5, имеется несколько морфологических разновидностей. Останцы типа органос тоже высокие (50—200 м), но с более округлыми вершинами. Отношение диаметра к высоте 1,5—3,0. Останцы типа севу и туал представляют собой куполовидные образования. Первые имеют высоту 30—120 м, отношение диаметра к высоте 3,0—8,0, вторые, наиболее низкие (10—50 м) и пологие, имеют отношение диаметра к высоте более 8,0.

Классификация Д. Балажа интересна, но лучше было бы избежать в ней употребления собственных географических названий для обозначения типов, назвав, например, тип янсо башенно-конусовидным, тип органос — сглаженно-конусовидным, тип севу — куполовидным, тип туал — полого-куполовидным или сглаженно-куполовидным.

Останцовый тропический карст развивается как в складчатых, так и в не образующих складки слоях чистых известняков, о чем свидетельствуют, например, исследования тропического карста в Южном Китае (Silag, 1963). Геологическая структура отражается только в расположении (например, рядовом, по простираанию слоистости в складках) и форме останцов (асимметрия при наклонном залегании слоев).

На юге СССР в горах субтропического пояса (Памиро-Алай, Закавказье), в умеренном и средиземноморском субтропическом поясах Средней и Южной Европы останцовый карст встречается только в виде реликта тропического карста (см. гл. X), возникшего в палеогене и неогене, частично даже в конце мезозоя — палеогене. Характерные останцовые формы — «хумы» — часто встречаются в полях Словении и Динарского Карста (Югославия), поднимаясь среди аккумулятивных днищ полей и по их окраинам (рис. 20). Но, как видно из предыдущего раздела, и эти формы следует рассматривать как реликты тропической обстановки неогена,



Рис. 20. Црмичко поле в Черногории (Югославия)
с поднимающимся на его краю останцом — «хумом».

Фото Н. А. Гвоздецкого

поскольку их образование связано с формированием полей.

Тропическая климатическая обстановка в низких широтах существует уже в течение нескольких геологических периодов, отчего и там в ряде областей карстовые останцы являются не современными, а древними образованиями (Лебедев, 1959, 1968; Teilhard de Chardin a. oth., 1935; Gellert, 1961; Silar, 1963).

Совершенно особым типом небольших останцов являются сталагмиты древних разрушенных пещер, оказавшиеся на дневной поверхности. Такие останцы известны в Горном Крыму (Зайцев, 1940).

Навесы и ниши

Эти формы, представляющие собой переход от поверхностных форм к пещерам типа гротов, освещаемых через входное отверстие, интересовали главным образом археологов, поскольку в таких формах часто обнаружи-

вались стоянки первобытного человека. В геоморфологическом плане они изучались И. К. Зайцевым (1940) в передовых цепях Алайского хребта и нами там же и в ряде других районов Памиро-Алая (более западные участки горного обрамления южной Ферганы, Зеравшанский хр., Восточный Памир) и Тянь-Шаня (хр. Каратау, Внутренний и Центральный Тянь-Шань) (Гвоздецкий, 1959), а особенно в южной части Минераловодского района (Гвоздецкий, 1950, 1954, 1964) и более восточных участках северного склона Большого Кавказа, а также в Горном Алтае (Гвоздецкий, 1972).

Навесы и ниши часто представляют собой чисто поверхностные образования, возникающие путем более интенсивного выщелачивания отдельных слоев стекающими по обрыву водами при большом значении процессов биохимического выветривания. В речных долинах и на морских побережьях в поверхностном выщелачивании основную роль могут играть речные (Гвоздецкий, 1959) и морские воды, причем в последнем случае растворяющая деятельность морских вод сочетается с динамическим действием волн (Клейнер, 1959).

В образовании более глубоких ниш существенную роль играют коррозия вод, просачивающихся по трещинам в горной породе, а также обрушения глыб породы вследствие расширения трещин выщелачиванием. Характерны расширения (ниши второго порядка) в устьях водопроводящих трещин, как вертикальных и круто наклонных — тектонических и других, так и трещин наслоения. Могут встречаться натечные корочки и даже капельники. Влияние трещиноватости, коррозии по трещинам и обрушений проявляется с большой наглядностью, вследствие чего изучение этих небольших и элементарных в сравнении с крупными гrotами и сложными пещерными лабиринтами форм представляет существенный геоморфологический интерес.

Пропасти и пещеры

Карстовые колодцы и естественные шахты, или карстовые пропасти

Между вертикальными карстовыми полостями типа колодцев и естественными шахтами (пропастями) нет принципиальных различий. Главное — это, пожалуй, глубина. Г. А. Максимович (1963) к карстовым колодцам относит доступные для проникновения человека вертикальные колодцеобразные каналы с глубиной обычно более 10 м и до 20 м. Действительно, полости глубже 20 м скорее можно назвать естественными шахтами, или пропастями, нежели колодцами. Но полости, у которых диаметр входного отверстия (устья) меньше глубины, не достигающие 10 м, вполне могут быть названы и обычно называются колодцами. Устье карстового колодца бывает округлое, овальное, щелевидное и очень неправильной формы, если колодец разработан на участке пересечения нескольких трещин. То же можно сказать и про устья естественных шахт, или пропастей, которые достигают многих десятков и нескольких сотен метров глубины.

За рубежом естественные шахты, или карстовые пропасти (бездны), в свое время энергично исследовал во Франции и ряде других стран Э. А. Мартель (Martel, 1894 и др.), по пути которого затем последовали многие спелеологи и их группы. У нас больше всего исследовались естественные шахты крымской Яйлы. Первые спуски в них были осуществлены лишь в конце 20-х годов нашего века (Васильевский, Желтов, 1932), но широкое изучение развернулось в основном с 1958 г. — симферопольскими карстоведами и спелеологами (Иванов и Дублянский, 1959). Тогда же было начато изучение естественных шахт южного склона Большого Кавказа в пределах Грузии, которое затем прогрессировало, как

и исследование подземных форм карста Крыма. Позднее были открыты и обследованы пропасти на Черноморском побережье Кавказа в Краснодарском крае, естественные шахты в Средней Азии, на Алтае, в Восточном Саяне.

При написании предыдущей монографии (Гвоздецкий, 1954) мы еще не располагали данными указанных исследований и смогли привести лишь довольно скудный материал о карстовых колодцах и естественных шахтах Кавказа, отчасти Горного Крыма, наметив следующие генетические типы их: возникшие вследствие растворения породы просачивающимися водами по трещинам и частичных обрушений; типично провальные; возникшие за счет корродирующего действия по трещинам талых снеговых вод; колодцы эрозионного типа; естественные шахты, выработанные корродирующим действием восходящих по трещинам артезианских вод (оз. Цериккель в долине Черка на северном склоне Большого Кавказа).

Г. А. Максимович (1963) в зависимости от характера движения и состава образовавших естественные шахты вод выделил четыре основных их типа: 1) коррозионные, возникшие за счет вод зоны вертикальной нисходящей циркуляции (требицкий тип); 2) провальные, возникшие над пустотами, созданными водами зоны горизонтальной циркуляции (бреховский тип); 3) провальные, возникшие над пустотами, созданными восходящими минеральными и термальными водами (пятигорский тип); 4) коррозионные, образованные напорными водами вертикальной восходящей (сифонной) циркуляции (цериккельский тип). Колодцы и шахты эрозионного типа, а также возникшие за счет корродирующего действия талых снеговых вод (думается, что их надо разграничивать в генетической классификации) должны быть отнесены к первому типу, выделенному Г. А. Максимовичем. Провал на горе Машук, давший повод Г. А. Максимовичу для выделения третьего типа, отнесен нами к типично провальной естественной шахте. Вероятно, среди типа провальных шахт следует выделить два подтипа, соответствующих второму и третьему типам Г. А. Максимовича.

Новые исследования, о которых упоминалось, показали довольно широкое распространение форм типа естественных шахт во многих, особенно горных, карстовых

областях СССР. Наиболее полно и разносторонне были изучены естественные шахты Горного Крыма, где обнаружены этого рода полости глубиной 261 м (Молодежная на Караби-яйле), 246 м (Каскадная на Ай-Петринской яйле), 213 м (Ход Конем на Чатырдаге) и 191 м (на Караби-яйле) (Дублянский, 1965). Среди карстовых полостей (пещер, колодцев и шахт) Горного Крыма В. Н. Дублянский (1970) различает три класса: А — коррозионно-гравитационных полостей; Б — нивально-коррозионных полостей; В — коррозионно-эрозионных полостей. Как показали исследования карста Горного Крыма, нивально-коррозионные полости там распространены довольно широко (Комплексной карстовой экспедицией АН УССР обнаружено 36 вертикальных полостей с постоянными скоплениями снега и льда), и, по-видимому, полости этого типа вообще достаточно характерны для среднегорья юга Европейской части СССР (Дублянский, Шутов, 1967), встречаясь также в высоком среднегорье и высокогорье более восточных районов.

В основные типы (классы), выделенные на основе региональной классификации полостей Горного Крыма, «укладываются» все те генетические типы, которые были намечены нами ранее (Гвоздецкий, 1954), за исключением типа шахт, разработанных восходящими артезианскими водами, которым следует дополнить основные типы общей классификации. Зарубежные исследователи отмечают также значение в глубинном закарстовывании и разработке карстовых пропастей конденсационных (Corbel, 1959) и подледниковых вод. Что касается коррозионно-эрозионных колодцев и естественных шахт, то необходимо иметь в виду отмеченное нами ранее одновременное и взаимосвязанное действие коррозии и механической эрозии. «Наиболее вероятным представляется образование большинства крупных естественных шахт путем механического воздействия низвергающегося в трещину потока воды (т. е. турбулентного или вихревого выкапывания, по Мартелю) на поверхность известняка, уже подготовленного коррозией к этому воздействию» (Гвоздецкий, 1954, стр. 185; см. разд. «Коррозия и эрозия» гл. III).

Пропасти, представляющие собой комбинацию естественных шахт с горизонтальными и наклонными пещерными галереями

К этому типу пропастей относится большинство глубочайших карстовых полостей мира (см. последний раздел данной главы), так же как и у нас, в СССР, глубочайшая пропасть Назаровская на Черноморском побережье Кавказа, пещера Кубинская в Восточном Саяне и др. Если подобная система начинается отвесной естественной шахтой, то последняя может быть и коррозионно-эрозионной (чаще всего), и нивально-коррозионной, и провальной. Но шахтные стволы на глубине, как правило, бывают коррозионно-эрозионными, иногда провальными. Нивально-коррозионный тип, естественно, исключается.

Происхождение пещер и стадии их развития

Большинство карстовых пещер возникло при ведущей роли выщелачивания горных пород, но во многих случаях при участии также совместного действия растворения и размыва водными потоками и обрушений. Иногда, возможно, ведущая роль принадлежала собственно эрозионному процессу — вытачивающей работе транспортируемых водой твердых обломков, что отмечается, например, Л. Якучем для громадных Аггтелекских пещерных систем Барадла и Мира (Jakucs, 1960), хотя и в этом случае не исключается подготовка эрозионного процесса растворением породы.

Некоторые пещеры в растворимых породах возникли за счет действия термальных и минеральных вод. Основу их составили сильно раскрытые тектонические трещины, которые были затем только моделированы процессами выщелачивания и натеchno-капельными образованиями. Примеры таких пещер — Псекупсская в западном отрезке Большого Кавказа, на его северном склоне, пещера Горячей горы в Пятигорске (Гвоздецкий, 1964). Такие пещеры называют тектоническими трещинными пещерами. В карстующихся породах встречаются сход-

ные с ними трещинные пещеры, возникшие в результате отседаний и оползней на крутых склонах (Jakucs, 1969). Они тоже могут быть лишь слегка видоизменены карстовыми процессами. Есть пещеры, представляющие собой первичные полости в травертине, образовавшиеся в процессе его накопления. Примером такой пещеры служит описанная Л. Якучем (1963) пещера Анны в Лиллафюреде (Венгрия).

Условия возникновения обычных карстовых пещер, происхождение которых в основном связано с выщелачиванием горных пород, также могут быть различны. Возможно развитие пещер в зоне вертикальной циркуляции просачивающихся по трещинам вод, например в местах соединения крупных трещин или на участках мелких, но очень частых трещин. Но если говорить о больших карстовых пещерах, имеющих значительную горизонтальную протяженность, то они в основном зарождались при полном заполнении развивавшегося канала подземными водами (в зоне полного насыщения, в ее верхней части, с циркуляцией воды, приближающейся к горизонтальной, либо при заполнении канала водой подвешенного или иного обособленного водотока), пройдя стадии полного, а затем и частичного заполнения водой, во время которых главным образом и осуществлялась их экскавация, т. е. развитие в сторону увеличения объема.

То, что пещеры на первом этапе своего развития разрабатывались ниже уровня грунтовых вод, т. е. в зоне полного насыщения, медленно двигавшейся водой, которая находилась под значительным давлением и целиком заполняла развивавшиеся пещерные полости, было доказано на большом фактическом материале У. М. Дейвисом (*Davis, 1930*), до которого большинство исследователей считали, что пещеры развиваются над уровнем грунтовых вод (Г. Бокк, американские авторы), и существование затопленных водой пещер, например, во Флориде, на Юкатане, Бермудах, объясняли тектоническим опусканием местности и затоплением пещер после их образования (Н. Шалер, Г. Матсон и С. Санфорд, Л. Коле, А. Свиннертон — см. *Davis, 1930*).

После У. М. Дейвиса некоторые авторы тоже допускали развитие пещер только над уровнем или на уровне зоны полного насыщения грунтовых вод в результате

свободного движения воды при частичном лишь затоплении подземных галерей (В. Бизе).

У. М. Дейвис создал теорию происхождения пещер в известняках (*Davis, 1930*) на основе анализа материала о пещерах карстовых областей с почти ненарушенным горизонтальным залеганием известняковых слоев. Он различал одноцикловые и двуцикловые пещеры, развивавшиеся при однократном или двукратном поднятии известнякового массива.

В развитии одноцикловых пещер (примеров больших одноцикловых пещер в плотных известняках У. М. Дейвис указать не мог) он выделял четыре этапа, а двуцикловых (к ним он относил Мамонтову пещеру и другие крупные пещеры США) — пять. В первый этап в обоих случаях происходит формирование растворением (при полном заполнении грунтовой водой) зачаточных каналов и галерей, во второй этап — расширение каналов и галерей до сети зрелых размеров. Когда полости расширяются настолько, что по ним начинают струиться «вадозные» потоки, над растворением породы начинает преобладать механический размыв («корразия», по Дейвису). В третий этап при развитии одноцикловых пещер вследствие врезания дренирующих поверхностных водотоков и опускания уровня грунтовых вод вода отводится из верхних галерей в глубже лежащие, образованные растворением грунтовыми водами, а осушенные галереи выполняются натечно-капельными и другими пещерными отложениями. При образовании двуцикловых пещер третий этап характеризуется освобождением галерей от заполняющей их воды вследствие нового регионального поднятия, а четвертый — заполнением отложениями. Последний этап в обоих случаях (4-й в первом и 5-й во втором) — это этап разрушения заполненных галерей в процессе деградации их кровель и стен, знаменующей стадию дряхлости, выравнивания, или пенепленизации. В продолжение всех этапов глубоко лежащие пещерные горизонты находятся в состоянии медленной прогрессирующей экскавации растворением грунтовыми водами ниже базиса эрозии.

Представление У. М. Дейвиса о первоначальной разработке пещерных галерей ниже уровня грунтовых вод при полном заполнении водой, находящейся под давлением, и о смене этой эпохи безнапорной с «вадозными» потоками, когда вода движется свободно, не под давлени-

ром, в сторону дренирующих долин, а часть воды замещается воздухом, является принципиально важным. Оно породило представление о «фреатической» и «вадозной» эпохах в развитии пещер, разработанное И. Х. Бретцом (Bretz, 1942) и западноевропейскими исследователями.

Интерес теории У. М. Дейвиса заключается также и в выделении ряда этапов формирования пещер на фоне эволюции циркуляции вод и поверхности карстующегося массива. Основной недостаток построений Дейвиса заключается в том, что он исходит из представления о быстрых поднятиях, начинающих и нарушающих (во втором случае) цикл развития. В действительности же колебательные движения земной коры происходят непрерывно и являются, как подчеркивалось в наших предыдущих работах (Гвоздецкий, 1950, 1954 и др.), закономерным фоном, на котором следует рассматривать эволюцию карста. Нельзя также резко ограничивать механический размыв («корразию», по Дейвису) от растворения, ибо он действует взаимосвязанно с растворением, подготавливаясь им.

А. Бёгли (Bögli, 1964 б, 1969 а, б, в) на основании изучения грандиозной пещерной системы Хёллох (Швейцария) и анализа данных по другим, главным образом французским, пещерам пришел к выводу, аналогичному взглядам У. М. Дейвиса и И. Х. Бретца, о том, что развитие подземной гидрографической и пещерной сети начинается при «фреатических» условиях, т. е. при полном заполнении каналов и полостей водой, находящейся под давлением. Однако, по его мнению, это возможно лишь при участии коррозии смешивания. При этом А. Бёгли придает разное значение трещинам напластования и тектоническим трещинам типа «диаклаз». Первые служат основными путями циркуляции напорных вод во «фреатической» зоне, где развиваются проходы эллиптического сечения (длинная ось эллипса соответствует направлению трещинной плоскости, почти горизонтальной или наклоненной под разным углом). В «вадозной» зоне вода пользуется преимущественно раскрытыми тектоническими трещинами типа «диаклаз» и течет также по водонепроницаемым пластам, направляясь кратчайшим путем к скоплениям грунтовых вод.

Во вторую («вадозную») фазу карстования образуются узкие, ущельеобразные проходы. Если подземные

«вадозные» потоки используют созданные во «фреатической» зоне галереи эллиптического сечения, они их соответствующим образом трансформируют. Правильным выводам часто препятствуют изменения в морфологии подземных полостей, происходящие за счет обвалов и заполнения полостей обломочным материалом, разработки трещин, которые прежде были мало связаны с карстовой гидрографией, и других процессов.

А. Бёгли показывает отчетливую сетчатость (в плане) пещерных систем, выработанных по «фреатической» зоне. На наш взгляд, следовало бы больше подчеркнуть роль в этом тектонических трещин, которые обеспечивают возможность действия коррозии смешивания, подводя к целиком заполненным водой каналам «фреатической» зоны воды, проникающие с поверхности («вадозные»), и направляя разработку каналов сетчатой системы. Об этом свидетельствуют морфологические особенности, связанные с действием коррозии смешивания, о которых будет сказано ниже.

Из советских исследователей вопросам формирования и эволюции пещер большое внимание уделяли Г. А. Максимович и Л. И. Маруашвили. Г. А. Максимович (1963) выделил шесть основных стадий образования пещер: трещинную, щелевую, каналовую, воклюзовую, натечно-осыпную и обвально-цементационную. Новое поднятие района пещеры и возобновление глубинной эрозии приводят к появлению еще одного этажа, который в своем развитии должен пройти те же стадии формирования пещеры. Л. И. Маруашвили (1967 а, 1969, 1970), отметив невыдержанность принципа наименования стадий у Г. А. Максимовича, несколько видоизменил и дополнил его схему, предложив взамен натечно-осыпной и обвально-цементационной стадий Г. А. Максимовича выделять три стадии: водно-галерейную, сухо-галерейную и камерную (грото-камерную).

В 1969 г. Г. А. Максимович опубликовал переработанную и дополненную схему, включающую четыре первые стадии прежней схемы, а вместо выделявшихся двух последних стадий — коридорно-речную, коридорно-озерную, коридорно-гrotовую натечно-осыпную, коридорно-гrotовую обвально-цементационную. Кроме того, он различает ряд стадий развития пещер, заложенных недалеко от земной поверхности: пещерно-провальную, карстовых моста, арки и долины (Максимович, 1969).

По поводу новой схемы Г. А. Максимовича Л. И. Маруашвили (1970) также сделал ряд критических замечаний. Он считает, что при выделении исторических стадий в развитии отдельной пещеры необходимо резко ограничивать эволюционные ступени от случайно обусловленных отклонений, точно локализовать спелеоморфогенетические процессы во времени и различать первостепенные и второстепенные явления в жизни пещеры. Обвалы кровли и стен пещеры, по мнению Л. И. Маруашвили, явления эпизодические, случайные, при этом они наиболее часты в воклюзовой и водно-галерейной стадиях, когда пещерный водоток, эродируя, нарушает условия равновесия горных пород. На основании этого Л. И. Маруашвили возражает против выделения обвальной стадии и отнесения ее к заключительной части цикла развития пещеры. Обрушение кровли неглубоко заложенной пещеры и превращение ее в каньон осуществляются, как правило, в водно-галерейной стадии. Натечные процессы синхронны водно-галерейному состоянию пещер и протекают, по мнению Л. И. Маруашвили, наиболее интенсивно, именно в водно-галерейной стадии. Поэтому натечно-осыпной стадии, следующей по времени за водно-галерейной, не бывает. Существование непроточных озер в пещерах не является исторической стадией общей значимости, у большинства пещер водно-галерейная стадия непосредственно сменяется сухо-галерейной.

Л. И. Маруашвили (1968) выделяет спелеоморфогенетические циклы трех хронологических рангов: малый (развитие отдельной пещеры от ее зарождения до исчезновения), средний (развитие многоярусных пещерных систем) и большой, охватывающий геократическую эру и состоящий из ряда средних циклов. Семь стадий малого спелеоморфогенетического цикла, выделенных на основе переработки схемы Г. А. Максимовича, Л. И. Маруашвили (1969, 1970) группирует следующим образом. Трещинная, щелевая и каналовая стадии соответствуют, по его мнению, «фреатической», или напорной, эпохе эволюции пещер, выделяемой западноевропейскими и американскими (У. М. Дейвис, И. Х. Бретц) авторами. После каналовой стадии наступает «конец «фреатической» группы стадий, давление уменьшается до нормы, появляются воздушные карманы, ускоряется движение воды. Следующие стадии составляют «вадозную» или

безнапорную, эпоху пещерообразования. Наступают воклюзовая и за ней водно-галерейная стадии. Озерная, или периодически-поточная, субстадия знаменует конец стадий обводненности, которые сменяются сухо-галерейной и грото-камерной стадиями.

Этажность пещерных уровней и пещер

Исследование нами карстовых областей Большого Кавказа показало, что большинство его пещер представляет собой почти горизонтальные галереи, разработанные в пликтивно дислоцированных известняках, иногда расположенные в несколько этажей. В главные туннели открываются боковые ответвления. По многим пещерным туннелям и сейчас протекают подземные реки. «В тех случаях, когда пещеры уже лишены воды, форма длинных и узких подчас разветвляющихся, но никогда не переплетающихся между собой туннелей довольно ясно говорит об их образовании подземной рекой и ее притоками» (Гвоздецкий, 1954, стр. 190). Нами дана схема развития таких многоэтажных систем горизонтальных пещерных галерей на фоне восходящего движения земной коры в условиях большой мощности известняковых толщ и складчатой структуры (Гвоздецкий, 1950, стр. 93—95; 1954, стр. 137—139; Gvozdeckij, 1958, см. рис. 21). Сходная схема дана в книге Ф. Тромба (*Trombe*, 1952, p. 248). Для платформенной структуры с горизонтальным залеганием слоев аналогичная схема разработана Г. А. Максимовичем (1963, стр. 170).

Схема Г. А. Максимовича существенно отличается от схемы У. М. Дейвиса (*Davis*, 1930) тем, что появление нового этажа связывается с поднятием района пещеры. Дейвис же доказывал, что в горизонтально напластованных известняках, где трещины наложения разных уровней служат путями циркуляции грунтовых вод в горизонтальном направлении, одно поднятие местности может приводить к одновременному развитию нескольких новых пещерных горизонтов. В течение одного протекающего без перерыва карстового цикла, по Дейвису, может образоваться несколько этажей пещер, например семь, из которых три действующие, расположенные над ними, — полуразрушенные, а нижние — в стадии формирования. Одно поднятие увеличивает чис-

ная Красная пещера в Горном Крыму и уникальная одиннадцатиярусная пещера Цуцхвати в западной Грузии, для которых с использованием палеозоологических и археологических данных установлен различный возраст пещерных этажей (Бачинский, Дублянский, Лысенко, 1967; Маруашвили, 1971).

Л. И. Маруашвили (1967б) считает, что являющееся причиной этажеобразования пещер смещение карстового водотока по отношению к вмещающей его карстующейся толще сверху вниз в результате углубления речных долин может быть связано не только с тектоническим поднятием карстового массива, но и с эвстазией — общим снижением уровня океана и континентальных водоемов с неогена, которое он считает более универсальным фактором, чем сравнительно локально проявляющиеся тектонические поднятия. Общее эвстатическое снижение уровня могло усложняться гляциоэвстатическими и другими колебаниями.

Роль трещиноватости и натечно-капельных образований в морфологии пещер

Первыми стадиями в формировании пещер, как об этом сказано в одном из предшествующих разделов, являются, по Г. А. Максимовичу и Л. И. Маруашвили, трещинная и щелевая. Трещины являются основными путями циркуляции вод и единственными в плотных непористых карстующихся породах. Они породили каналы и галереи пещер. Вертикальные и круто наклонные тектонические трещины направляли потоки грунтовых вод, если основная роль в циркуляции воды и разработке пещерных галерей на глубине принадлежала трещинам наложения. По ним осуществлялся приток «вадозных» вод, т. е. поступление просачивающихся с поверхности карстового массива вод через зону аэрации во «фреатическую» зону, что обеспечивало возникновение эффекта коррозии смешивания и выщелачивание в глубине массива, в зоне, которая недоступна для проникновения ненасыщенных растворенной известью агрессивных вод.

Естественно поэтому, что морфология пещер, рисунок их планового изображения и форма поперечного сечения очень тесно связаны с трещиноватостью. Связь формы поперечного сечения с характером зоны карсто-



Рис. 22. Большая Белобомская пещера в Горном Алтае (по Н. А. Гвоздецкому).

Цифры указывают высоту потолка в метрах. 1 — направление наклона пола, 2 — уступ в потолке, 3 — уступ на полу, 4 — наружный обрыв.

вания и трещиноватости частично уже показана. Она демонстрируется также на ряде чертежей, приведенных нами в прежней монографии (Гвоздецкий, 1950, 1954). Некоторые морфологические особенности пещер обусловлены коррозией смешивания в месте соединения трещины, подводящей сверху воду, с каналом пещеры, который прежде целиком был заполнен «фреатической» (по А. Бёгли) водой. В таких местах на потолке пещер образуются углубления четкого эллипсовидного сечения,

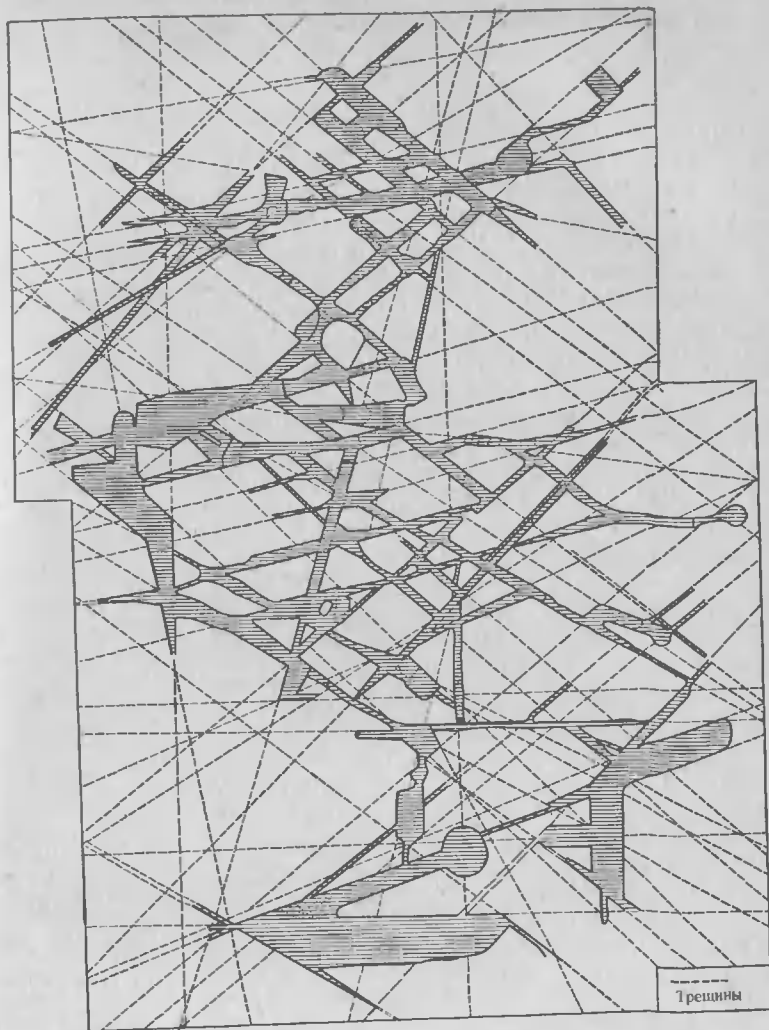


Рис 23. План Худугунской пещеры в Приангарье (по Н. И. Сокслову).

тупо заканчивающиеся закругленной поверхностью, на которой всегда заметна вертикальная или круто наклонная трещина, и с ее направлением совпадает ориентировка длинной оси эллипса. Фотографии таких полостей, выполненные в пещере Хёллох, воспроизведены во многих работах А. Бёгли (Bögli, 1964a, б, в и др.). Среди них он выделяет эллиптические ходы, гирляндовые ходы, мешкообразные ходы и полости коррозионного размыва (Korrosionskolke). Формы последнего типа нами наблюдались в ряде пещер западной части южного склона Большого Кавказа, например в совершенно сухой сейчас пещере у с. Красновольск, на р. Хосте (Гвоздецкий, 1959 б). Д. Хедгесом они отмечены в американской пещере Ворден'з Кэйв (Hedges, 1967).

В нашей прежней монографии приведены чертежи, иллюстрирующие связь планового изображения пещер с системами трещиноватости (Гвоздецкий, 1954, стр. 191—193). Здесь мы воспроизводим еще несколько аналогичных изображений (рис. 22, 23 и 27). Примеры пещер Венгрии и Италии, различающихся по генезису (венгерская пещера Фсренхеги в Будайских горах разработана термальными водами), с направлениями ходов, предопределенными разными системами тектонических трещин, приводит Л. Якуч (Jakucs, 1969).

В плановое изображение, форму поперечных и продольных сечений пещер большое разнообразие вносит моделировка проходов и залов осаждением натеchno-капельных образований. Иногда единая полость оказывается разделенной натеchnыми перегородками на две, а то и четыре камеры. С натеchno-капельными образованиями бывают связаны не только причудливость профиля, но и многэтажность расположения камер. Все это наблюдалось нами и в пещерах южного склона Большого Кавказа и за рубежом в пещерах Чехословакии, Венгрии, Югославии, Болгарии (Гвоздецкий, 1950, 1954, 1970).

Натеchno-капельные образования в пещерах

Стадиальность формирования натеchno-капельных образований зависит от постепенного уменьшения обводненности пещерной полости, которое связано, по Г. А. Максимовичу, со стадиальностью развития пещер (см. вы-

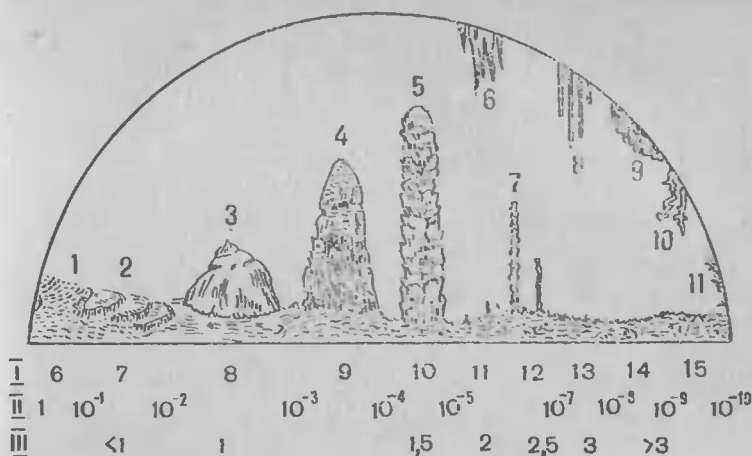


Рис. 24. Эволюция карбонатного литогенеза пещер (по Г. А. Максимовичу).

Стадии: 1 — покровных натсков, 2 — гуров, 3 — сложных массивных сталагмитов, 4 — пагодообразных сталагмитов, 5 — пальмовых сталагмитов, 6 — переходных конических сталактитов, 7 — сталагмитов-палок, 8 — удлиненных трубчатых сталактитов, брчск. 9 — уплощенных сталактитов, 10 — эксцентричных сталактитов, 11 — эксцентричных эксудатов.

I — классы притоков, II — притоки в л/сек, III — отношение $\log$ притока л/сек
— $\log p\text{CO}_2$ атм.

ше). В зависимости от величины притока воды в пещеру из определенного пункта в потолке или на нависающей стене (стружкой, интенсивным, слабым капежом) и парциального давления CO_2 кальцит выпадает из раствора на полу или потолке (нависающей стене) пещеры.

При больших притоках воды сталактиты вообще не возникают, а избыток карбоната кальция сперва отлагается на полу пещеры в виде покрова, позднее в виде каскадов гуров, затем разной формы сталагмитов (рис. 24), и лишь снижение притока воды до 0,1—0,01 куб. см/сек приводит к карбонатной аккумуляции на потолке пещер и возникновению сталактитов. Сталактиты-трубки образуются при уменьшении притока воды до 0,001 куб. см/час и менее, когда еще продолжается образование и сталагмитов, но при дальнейшем снижении водопритока большая часть поступающего с водой карбоната кальция остается на потолке пещеры и рост сталагмитов прекращается. Эксцентричные сталактиты возникают при снижении притока до 1—0,1 микролитра в

секунду, нередко при участии конденсации. Заключительная стадия генетического ряда натежно-капельных образований — экссудативная (выпотов). Она наступает, когда в пещере совсем нет притока воды сверху. Из растворенного конденсационной водой карбоната кальция на потолке и стенах образуются сталактитовые волокна, крошечки и др., большей частью эксцентричные кальцитовые образования. Возникает и арагонит (Максимович, 1965). Эксцентричные образования в пещерах отличаются иногда исключительной сложностью и разнообразием форм (Rušavý, 1967).

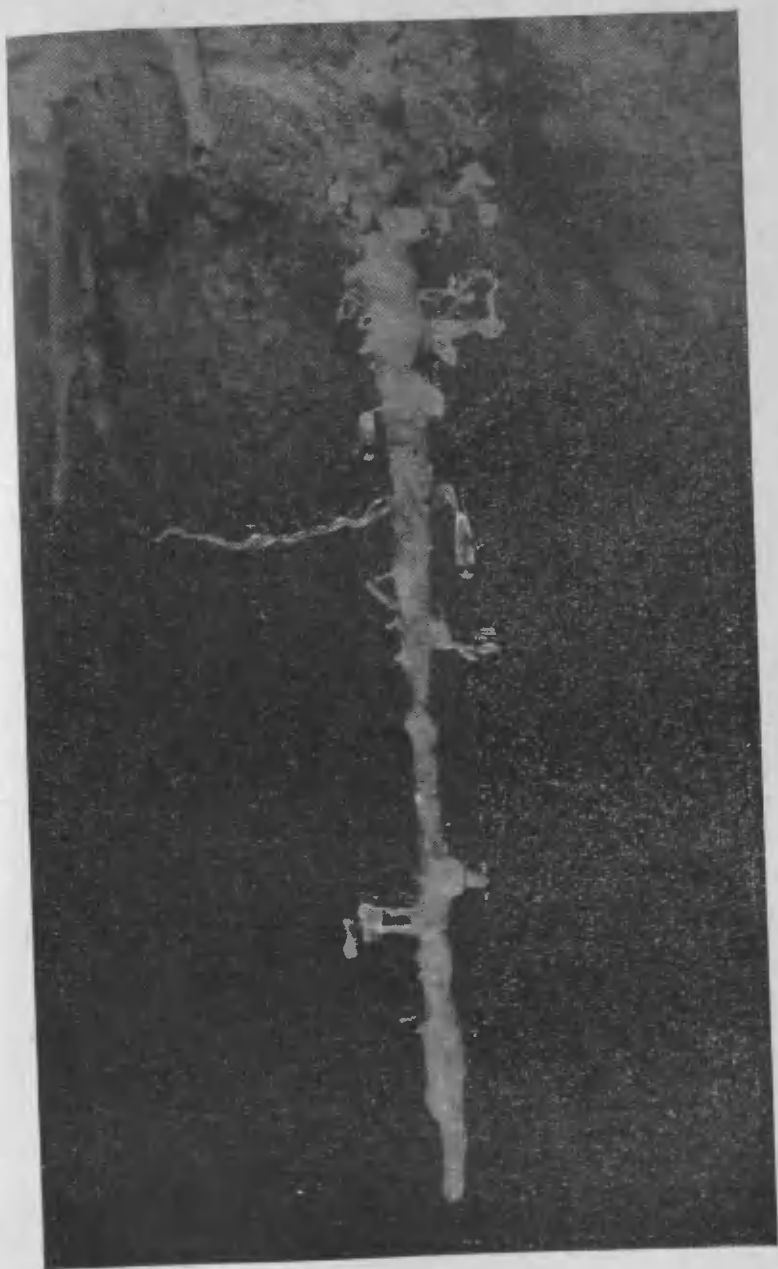
Естественно, что в разных точках потолка и нависающих стен пещеры создаются различные водопритoki, отчего в одной и той же пещере могут возникать, и обычно возникают и развиваются, натежно-капельные образования разных стадий. Тем не менее различные эволюционные стадии характеризуют и общую тенденцию развития этих образований в пещере в связи с уменьшением ее обводненности. Что касается эволюции в определенной точке, то она может ограничиваться узким пределом эволюционного ряда, т. е. отрезком из нескольких соседних стадий, а резкое изменение в условиях капежа может приводить к «перескакиванию» через отдельные стадии.

Вода, стекающая по стенам карстовых полостей, образует разнообразные кальцитовые «драпировки», а слияние соседних сталактитов, располагающихся линейно (например, по трещине в потолке), приводит к возникновению занавесов и других подобных образований.

Большой интерес представляют капельные образования, возникающие при малых водопритоках. Полые внутри сталактиты-трубки в Чехословакии называют брчки (*Kunský, 1950*), в Италии — макаронами, в Америке — *soda straw*, т. е. соломинками для содовой воды (*Goodman, 1966*), но, будучи прозрачными, они больше всего напоминают стеклянные трубки химической аппаратуры. Длина их достигает 4,5 м (Максимович, 1965). Длинные прозрачные сталактиты-трубки исключительно обильны в Сказочном зале пещеры Пунквы в Чехословакии (*Гвоздецкий, 1970*), а из наших пещер я в изоби-

Рис. 25. Эксцентричный сталактит в Анакопийской пропасти близ Нового Афона.

Фото З. И. Адзизбы



лии их встретил в Аджимчигринской пещере Абхазии (Гвоздецкий, 1959 а).

В результате закупорки канала сталактита-трубки и проникновения в нее воздуха кончик сталактита развивается за счет внешнего обходного течения воды по поверхности трубки, возникают морковообразные формы, боковые утолщения, узорчатые наросты, субсеквентные геликтиты (Goodman, 1966; *Kunský, 1950*).

При разрыве трубки, питающейся водой изнутри, и образовании бокового капиллярного канала возникает отросток, нарастающий в сторону и даже вверх. Так развиваются разнообразные эксцентричные сталактиты с ответвлениями (рис. 25), образование которых связывают с перевесом капиллярных сил и сил кристаллизации над силой тяжести в благоприятных для этого и спокойных (без тяги воздуха) метеорологических условиях пещеры (*Крубер, 1915; Гвоздецкий, 1954; Максимович, 1965; Kunský, 1950*). При большей обводненности, как справедливо отмечает Г. А. Максимович (1965), доминировала сила тяжести. Вместе с тем Л. Якуч (Jakucs, 1966) двумя проведенными в венгерской пещере Мира экспериментами доказал важнейшее значение в сталактитообразовании гидростатического давления карстовых вод.

Капля с мелкими кристалликами на поверхности является зародышем круглого сталактита. Кристаллики игольчатой формы сначала растут внутрь капли, а затем за счет раствора бикарбоната, приносимого вновь поступающей водой, нарастают на шаровидной поверхности первоначальной капли. На нижней стороне шара может образоваться следующий шар (далее вниз иногда третий) или же вырасти сталактитовая трубка (*Kunský, 1950*).

Интересны эксцентричные сталагмитовые образования. Искривление сталагмитов может происходить на медленно движущейся осыпи, покрывающей пол пещеры. Сталагмит своим основанием вместе с обломками осыпи перемещается вниз и в сторону, а капля падает все на том же месте, и пункт ее падения и наращивания сталагмита отклоняется от оси сталагмита в направлении вершины осыпи. Такие искривленные сталагмиты на осыпи наблюдались нами в Яворжичской пещере Северо-Моравской карстовой области Чехословакии (*Гвоздецкий, 1970*). У нас они есть в Анакопийской пропасти

у Нового Афона (рис. 5). Иногда натечно-капельные образования обваливаются, и на их хаотических нагромождениях вырастают новые сталагмиты, либо прямой сталагмит растет на покосившемся. На упавшем и застрявшем в проходе пещеры большом сталагмите снизу могут нарасти сталактиты. Подобные явления наблюдаются в Пстойшской пещере Югославии (Гвоздецкий, 1970), они встречаются и в наших пещерах.

Пещеры-ледники

Пещеры-ледники, или так называемые ледяные пещеры, характеризуются развитием ледяных натечно-капельных и кристаллических образований. В СССР большой известностью пользуется Кунгурская ледяная пещера. Пещеры-ледники есть также в Горном Крыму, на Большом Кавказе, на Русской равнине (Кулогорская, или Шаньгинская, в Архангельской обл., Ледяная пещера Ичалковского бора в Горьковской обл.), на Урале и в Предуралье, в Восточной Сибири, в горах Средней Азии, за рубежом — в Альпах (например, Айсризенвельг в Австрии), Пиренеях и пр.

Среди карстовых полостей-ледников СССР нами выделено семь типов, различных по условиям возникновения пещерного холода, накопления снега и льда: 1) карстовые колодцы и пропасти со снегом и льдом, лед в которых образуется из попадающего в холодное время года через устьевое отверстие снега; 2) холодные пещеры мешкообразной формы, лед в них может возникать путем замерзания воды, поступающей из трещин; 3) сквозные, или продувные, холодные пещеры с меняющимся в теплое и холодное полугодия направлением тяги воздуха, с гидрогенным льдом и атомогенными, или сублимационными, ледяными кристаллами; 4) сквозные горизонтальные пещеры-ледники с окном в потолке, через которое попадет снег, превращающийся в лед (комбинация первого и третьего типов); 5) сквозные, или продувные, пещеры области вечной мерзлоты, где пещерный лед представляет собой ее особую форму; 6) колодцеобразные полости области вечной мерзлоты; 7) мешкообразные полости области вечной мерзлоты. Примеры пещер-ледников указанных типов приведены в специальной статье (Гвоздецкий, 1968).

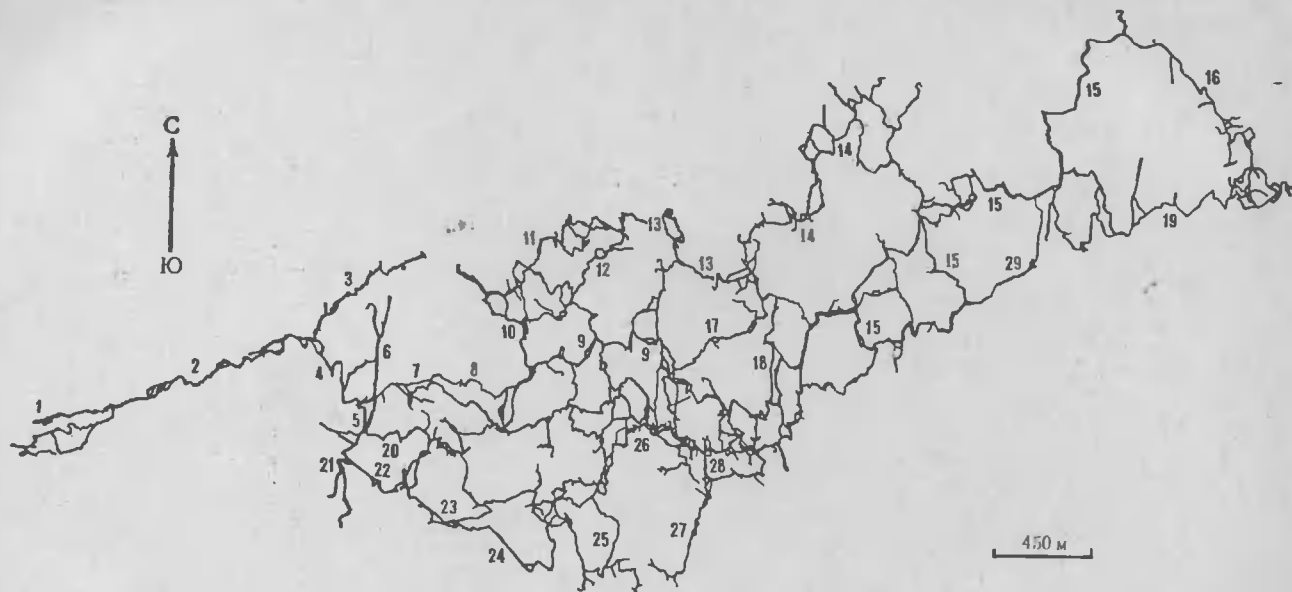


Рис. 26. Плай пещерной системы Хёллох в Швейцарии (по А. А. Бёгли).

1 — вход, 2 — Главный ход, 3 — Оркус, 4 — Озерный ход, 5 — Зал гигантов, 6 — Ход гигантов, 7 — Стикс, 8 — Инномината, 9 — Ход титанов, 10 — Озирисов ход, 11 — Анубис, 12 — Ход воронов, 13 — ход Пасть, 14 — Туннель щебня (загромождения), 15 — ход Заца, 16 — Галерея пагод, 17 — ход Бухера, 18 — Загадочный ход, 19 — Клочок надежды, 20 — ход Эола, 21 — Водный собор, 22 — Галерея куполов, 23 — Небесный ход, 24 — Галерея 800 м, 25 — Галерея 1001 ночи, 26 — Соединительная черта, 27 — Галечный ход, 28 — Одночество, 29 — Галерея оцепенения

Крупнейшие карстовые пещеры и пропасти мира и СССР

По имеющимся в нашем распоряжении данным, крупнейшей по суммарной длине всех проходов и залов пещерой мира является пещерная система хребта Флинт (Флинт Ридж) в США (штат Кентукки), насчитывающая 121 км. (Quinlan, 1970). Второе место занимает Хёллох (рис. 26) в долине Муота, в Альпах (Швейцария) — 109 км (Bögli, 1970). За ними следуют пещеры Оптимистическая (СССР, Подолия) — более 75 км, Мамонтова (США, Кентукки) — 74 км (Quinlan, 1970), Озерная (СССР, Подолия) — 65,1 км, Айсризенвельт (Австрия, Альпы) — 42 км.

Крупнейшие пещеры СССР распределяются следующим образом: Оптимистическая, Озерная, Кристальная (Кривченская) — 18,8 км, Млынки — 14,1 км (все в Приднестровской Подолии), Красная — 13,1 км (Горный Крым). Четыре первые пещеры являются гипсовыми и представляют собой сложнейшие лабиринты в основном узких ходов, выработанных по системам трещиноватости (рис. 27). Пещера Оптимистическая является не только самой крупной (по суммарной длине) пещерой нашей страны, но и крупнейшей из гипсовых пещер мира. Самая большая из известняковых пещер у нас — Красная.

Наиболее глубокие пещерные системы и пропасти мира, по имеющимся у нас данным, следующие: Берже (Франция, передовые поднятия Альп) — 1122 м, Пьер-Сен-Мартен (Франция — Испания, Пиренеи) — 1110 м¹, система Тромба (Франция, Пиренеи) — 911 м, Сплюга делля Прета (Италия, Альпы) — 879 м, Антродель Коркия (Италия, Апеннины) — 805 м, Снежная (Польша, Татры) — 780 м. Самая глубокая пропасть в СССР — Назаровская (Западный Кавказ, Черноморское побережье), около 500 м.

Некоторые карстовые пещеры выделяются громадными размерами отдельных залов. К таким пещерам

¹ Л. И. Маруашвили (1971) для обеих названных пропастей указывает глубину 1360—1400 м, но мы не располагаем соответствующими данными первоисточников.

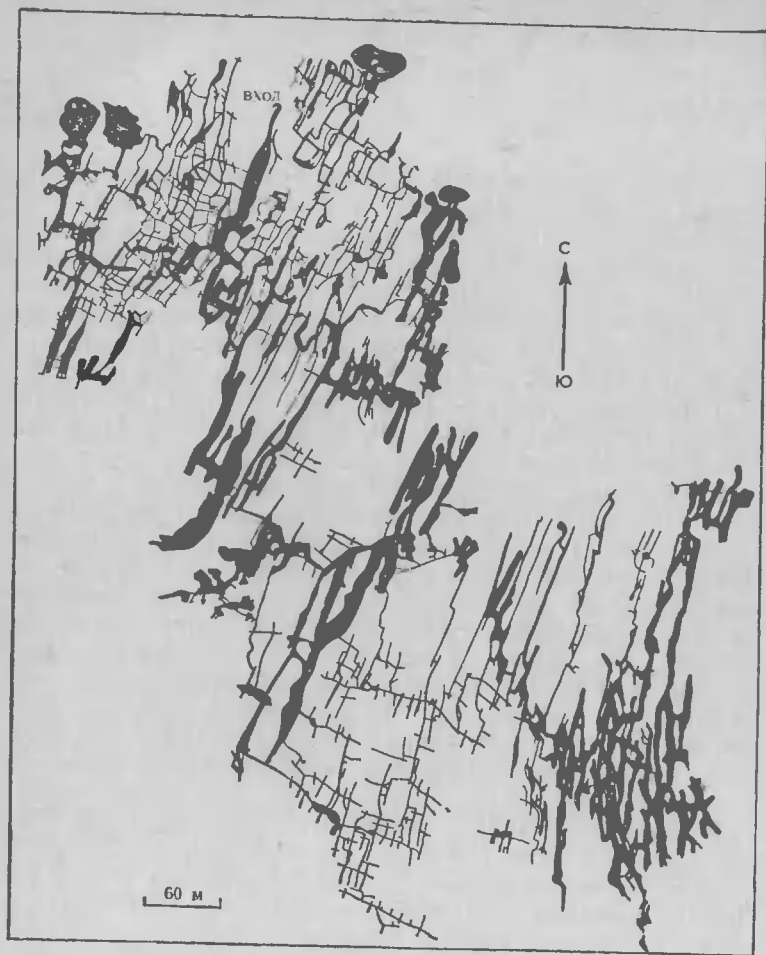


Рис. 27. План пещеры Озерной (по В. А. Радзиевскому).

относится Карлсбадская в США (Холидей, 1963), а у нас — Анакопийская пропасть близ Нового Афона (Тинтилозов, 1968).

Источники, реки и озера карстовых районов

Карстовые источники

В отличие от родников, питающихся поровыми подземными водами, а также и трещинными в некарстующихся породах, где выводящие воду трещины не расширены действием выщелачивания, карстовые источники характеризуются большой концентрированностью выхода вод. Особенно мощными источниками являются выходы на поверхность подземных рек или сконцентрированных при выходе в мощный водоток подземных струй. Такие источники, выходящие на поверхность в виде обильного потока, внезапно начинающейся речки или даже реки, называют воклюзскими, или воклюзами, по имени карстового источника Воклюз, находящегося на юге Франции (Дофине), который дает начало р. Сорг.

Если даже установлена прямая связь источника с исчезнувшей под землей рекой, не всегда выход воды в виде мощного потока служит только продолжением течения этой реки. Под землей к нему могут присоединяться боковые притоки. Например, истоки р. Любляницы возле г. Врника, в Словении (Югославия), имеют прямую связь с р. Уницей, блуждающей по дну Планинского поля и исчезающей на северо-западном краю этого поля в месте, называемом Под стенами. Но помимо Уницы они имеют большой подземный приток, связанный с подземным стоком из горного массива Яворник. Подземный сток с Яворника особенно важен в сухой сезон, когда сливающиеся в Планинской пещере и образующие р. Уницу пещерные реки Рак и Пивка несут очень мало воды.

Истоки Любляницы находятся в зоне тектонического контакта закарстованных известняков с площадью Люблянско Барье, где прослеживается система разломов. 11 источников группируются в мешкообразных до-

линах Мочильник (истоки Малой Любляницы) и Ретовье (истоки Большой Любляницы). Воды их выходят с глубины под напором, иногда в устьевых воронках, расширенных коррозией восходящей струи, представляя собой типичные Quelltopf (ключевой горшок) немецких авторов. Яркий пример такого источника дает источник Под орехом. У нас такого типа источники есть на Кавказе. Это озера Голубое в долине Бзыби и Хариствали в Шаорской котловине (теперь затопленное водами водохранилища), а также грандиозный восходящий источник — уже упоминавшееся оз. Цериккель в долине Черека, на Северном Кавказе. К тому же типу принадлежит и оз. Провалище и низовье Осы в Приангарье, связанное с подземными водами гипсового, а может быть, и известняково-доломитового карста (Гвоздецкий, 1952).

В связи с резким изменением режима питания подземных карстовых рек (особенно это характерно для средиземноморских районов с влажным и сухим полугодиями, в частности и для Югославии) источники воклюзского типа и даже типа ключевого горшка (Quelltopf) с выходом вод под напором часто характеризуются весьма изменчивым дебитом. В Черногории (Югославия), в Которском заливе (восточная лопасть Бока Которской), западнее Котора, нам удалось ознакомиться с мощным источником воклюзского типа Люта. Его дебит изменяется от максимального 170 куб. м/сек во влажный сезон до минимального 50 л/сек в сухой.

Если выводящие каналы источника связаны не с зоной постоянного насыщения, а с зоной периодического полного насыщения (см. гл. IV), такой источник является периодически действующим. Периодических источников много в Югославии (Гаврилович, 1967; Gavrilovic, 1970).

Г. А. Максимович (1969) подразделяет карстовые источники по условиям выхода на денудационные, грещинные, приморские и смешанные. К денудационным относятся: наиболее обычные эрозионные источники, выходящие в речных долинах на склонах, террасах, дне долины и в русле; горные денудационные источники (привершинные, склоновые, переливающиеся); источники польев (склоновые, подпожий и эставеллы, периодически воронка восходящего источника с выходом напоропора); плотинные, или барьерные, источники. К тре-

щинным источникам относятся: собственно трещинные карстовые источники в зонах тектонических нарушений, сбросовые плотинные источники; к приморским — абразийные карстовые источники, с каналами, вскрытыми абразией; погруженные (субмариновые) источники; морские мельницы; морские пучины — затопленные морские мельницы; интермиттирующие, или перемежающиеся, субмариновые источники, то действующие как источник, то превращающиеся в понор, засасывающий морскую воду. Смешанные источники — это те, выход которых обусловлен не одной, а двумя и большим числом причин.

Большой интерес представляют субмариновые источники. Они многочисленны у южного побережья Австралии, у берегов Флориды, Юкатана, Кубы (Davis, 1930), на дне Тихого океана у побережья Южной Америки, у берегов Средиземного моря (Франция, Италия), его части — Адриатического моря (побережье у Триеста в Италии, Югославия), где в районе полуострова Истрия и Хорватского приморья, в Далмации и у острова Брач известны 32 субмариновых источника или группы источников (Petrik, 1961; Максимович, 1969), а также в Ионическом море на юге Греции.

Нам приходилось наблюдать субмариновые источники в Рисанском заливе Бока Которской (Черногория, Югославия) и у Черноморского побережья Кавказа в районе Гагр. По данным Т. З. Кикнадзе (1965), источники в районе Гагр выбивают на глубине 10 м. Дебит субмаринового источника, выходящего между Сандрипшем и Бегерепстой, оценивается в 300 л/сек (Владимиров, 1964). Три субмариновых источника имеются возле Гантиади, тоже у Черноморского побережья, на севере Абхазии (Брашнина, 1963; Максимович, 1969).

Г. А. Максимович субмариновые источники называет погруженными, поскольку «в большинстве случаев современные субмариновые источники возникли на суше и превратились в подводные в результате опускания прибрежной зоны или подъема уровня воды в мировом океане» (1969, стр. 40). Эвстатический фактор, по-видимому, следует считать более универсальным. У. М. Дейвис доказывает возможность образования субмариновых источников Флориды, Юкатана и Кубы без погружения суши (Davis, 1930, р. 491—497), но эвстатический фактор все же и там должен был действовать.

Большая часть субмаринных источников у Адриатического побережья и в других районах Средиземного моря (как и у нашего Черноморского побережья Кавказа) находится на сравнительно небольших глубинах, и их образование, а также возникновение водяных мельниц связывают с послеледниковым эвстатическим поднятием уровня моря (Maurin, 1964). Однако, поскольку субмаринные источники встречаются и на глубинах, превышающих величину эвстатического колебания уровня моря (иногда до глубины 700 м), последний, очевидно, не служит базисом коррозии, движение воды, и карстование происходит и ниже его (Davis, 1930; Roglic, 1961).

Реки карстовых районов

Для карстовых районов характерна разреженность поверхностной гидрографической сети. Эта особенность наглядно показана И. С. Шукиным (1926) на примере одного из районов западной Грузии на южном склоне Большого Кавказа. Она отмечена и Л. А. Владимировым (1964), который пишет о безводии возвышенных частей карстовой области Абхазии, где происходит поглощение поверхностных вод в толщи сильно закарстованных известняков, и об обилии рек и источников в предгорьях и на равнине, в зоне разгрузки карстовых вод и там, где мезозойские (верхнеюрские и меловые) известняки сменяются некарстующимися кайнозойскими породами предгорий и береговых равнин. Поглощение поверхностного стока отрицательными формами карстового рельефа и перевод его в подземный является общеизвестным фактом, но как важнейшая особенность стока карстовых районов подчеркивается в выводах серьезных карстоведческо-гидрологических исследований (Балков, 1966).

Карст приводит к интенсификации подземного стока, нарушает плавный зональный характер распределения величины подземного стока, определяемый широтной и высотной зональностью, климатической и ландшафтной, приводит к перераспределению подземного стока в реки на относительно ограниченных площадях. Большие величины модулей и коэффициентов подземного стока и коэффициентов подземного питания рек в карстовых районах объясняются не только особо благоприятными

условиями поглощения атмосферных осадков, но и своеобразными чертами режима карстовых вод, его динамичностью, большими скоростями движения и т. д. По типу своего режима подземный сток в карсте часто напоминает режим речного стока, отличаясь лишь некоторым запаздыванием наступления максимумов и минимумов (Куделин, Карпова, 1968).

На примере той же западной Грузии И. С. Щукин (1926) и Л. А. Владимиров (1964) показали обилие пещерных рек, коротких рек побережья, выходящих мощными потоками из-под скал и тут же впадающих в море, внезапно исчезающих под землю и опять появляющихся на поверхность рек. Такие реки известны у нас во многих карстовых районах Русской равнины, в Предуралье и на Урале, на Алтае, в Восточной Сибири и других местах, но особенно эффектны они в Югославии — системы протекающей по знаменитой Постойнской пещере реки Пивки, Рака и Уницы в Словении, Нотраньской Реки, исчезающей в грандиозном подземелье Шкоцнянской пещеры (тоже в Словении) и появляющейся близ Триеста в виде истоков р. Тимава, и др. (Гвоздецкий, 1970).

Л. А. Владимиров (1964 и др.) для уже упоминавшихся районов западной Грузии с классически выраженной карстовой гидрографией установил, что доля подземных карстовых вод в питании поверхностных рек составляет от 30 до 40—60% и более (85% в бассейне рек Дидичала — Херга в Шаорской котловине) годового стока, иногда падая ниже 25% на реках, проходящих транзитом через полосу закарстованных известняков. Режим рек карстовых районов с высокой долей подземного питания определяется естественной зарегулированностью стока и отличается значительной устойчивостью: довольно высокий уровень воды в меженьный период, длящийся всего одну-две декады, низкое непродолжительное половодье с кратковременными дождевыми паводками, чередование кратковременных паводковых пиков с непродолжительными периодами более низких вод в остальные сезоны. Такая картина, однако, определяется сравнительно равномерным распределением осадков по сезонам года на южном склоне Большого Кавказа (в Абхазии и соседних районах западной Грузии). И тем не менее карстовые воды западной Грузии (Абхазия, Мегрелия), по данным Л. А. Владимирова, не всег-

да придают рекам устойчивый режим расходов. Многие карстовые источники почти следуют ходу дождей осадков и по своему режиму напоминают кратковременно действующие суходолы. Поэтому там, где сильно развиты явления карста, «обилие подземных вод не всегда обуславливает устойчивый режим расходов питаемой ими реки» (Владимиров, 1964, стр. 73). У р. Дидичала в Шаорской котловине, имеющей подземный сток 85% от полного годового, средний месячный расход до образования в котловине водохранилища колебался от 4,47 до 0,15 куб. м/сек.

В областях же с резко выраженной неравномерностью сезонного распределения осадков, например в Средиземноморье, типичные карстовые реки с большой долей подземного питания испытывают весьма значительные изменения расходов и уровней во влажный и сухой сезоны. Примером может служить уже упоминавшаяся система карстовых рек Пивки — Уницы в Словении, расход которых резко сокращается в сухой сезон в сравнении с влажным периодом. Пивка становится очень маловодной, и Уница в Планинском поле получает большую часть своих вод не из Пивки, а за счет подземного стока с горного массива Яворник.

Проводить гидрологические исследования горных карстовых районов трудно, так как топографические и подземные водоразделы не совпадают, а также из-за подземного водообмена (по Л. А. Владимирову и В. А. Балкову) между речными бассейнами. Это отмечено для районов Абхазии и Мергелии южного склона Большого Кавказа (Владимиров, 1964), для Урала, Карпат (в частности, известняковых Западных Татр Польши), Динарских гор Югославии и т. д. Несовпадение границ поверхностных и подземных водосборов характерно и для платформенных территорий, в частности для Русской равнины (Маркова, 1967; Балков, 1970), причем это не только затруднение в исследовании, но и одна из основных закономерностей влияния карста на сток (Балков, 1966).

Подземный водообмен между речными водосборами может быть положительным и отрицательным. При положительном водообмене повышаются норма годового стока, его внутригодовая зарегулированность и минимальный сток, снижаются изменчивость годового стока и модуль максимального стока. При отрицательном во-

дообмене снижаются норма годового стока, его внутри-годовая зарегулированность, модули минимального и максимального стока, увеличивается коэффициент вариации годового стока (Балков, 1966, 1970).

В платформенных условиях Русской равнины к рекам с отрицательным подземным водообменом относятся притоки первого и второго порядков основных водных артерий, дренирующих карстовые районы, и те притоки, которые полностью расположены на закарстованных площадях или пересекают их, имея площади водосборов менее 1000—2000 кв. км. Для них характерны значительные потери стока в смежные речные водосборы, вследствие этого и более низкая в сравнении с некарстовыми реками норма годового стока. Немногочисленные реки Русской равнины с положительным подземным водообменом — это небольшие водотоки (с площадью водосборов обычно меньше 500 кв. км), которые дренируют подземные воды с площадей, значительно превышающих их поверхностные водосборы. Они имеют высокую общую водность и минимальный сток, превышающий в шесть — восемь раз при интенсивной закарстованности минимальный сток некарстовых рек. Относительно крупные реки карстовых районов Русской равнины, с водосборами свыше 1000—2000 кв. км, дренируют большую часть стока, поглощенного в их бассейне карстовыми образованиями, и имеют, таким образом, более или менее замкнутый подземный водообмен. Норма их годового стока близка к зональной или несколько ниже за счет фильтрации карстовых вод в глубокие водоносные горизонты. Влияние карста сказывается в уменьшении половодья и максимальных расходов и в увеличении меженного и минимального стока (Маркова, 1967).

Влияние карста на сток зависит еще от зональной величины стока и размера площади водосборного бассейна, что отчасти уже проиллюстрировано на примере Русской равнины. При малых площадях водосборов в условиях сильной закарстованности влияние карста на сток осуществляется в наибольшей степени. С увеличением площади водосбора отклонения значений стока от зонального уменьшаются.

Наблюдаются отличительные особенности влияния на сток горного карста в сравнении с равнинным. В горных районах снижаются величины модуля речного сто-

ка вследствие расходования воды на проникновение вглубь; в связи со значительными уклонами поверхности водосборов ослабляется регулирующее влияние карста на внутригодовое распределение стока, уменьшается роль карста в формировании максимального стока (Балков, 1966, 1970).

В карстовых районах наблюдаются резкие пространственные изменения подземного и поверхностного стока: водообильные участки сменяются безводными, что связано с особенностями циркуляции вод в карсте и характером карста (Куделин, Карпова, 1968).

Региональная характеристика подземного стока на территории СССР, от которого во многом зависят питание рек и поверхностный сток карстовых районов, дана в коллективной монографии «Подземный сток на территории СССР» (1966).

Зависимость термического режима рек от питания карстовыми водами еще слабо отражена в литературе. Химический состав воды определяется выносом в реки карстовыми водами растворенных веществ и зависит от характера растворимых горных пород, т. е. от литологического типа карста. В межень, когда господствует подземное питание и когда при ослабленной интенсивности подземной циркуляции вод достигается их большее насыщение, минерализация воды в реках увеличивается. Сведения о химическом составе речных вод карстовых районов достаточно полно отражены в недавно опубликованной монографии Г. А. Максимовича (1969).

Карстовые озера

Вместилищами карстовых озер служат разного размера и характера отрицательные поверхностные формы карста. Это могут быть одиночные достаточно крупные карстовые воронки. В таком случае карстовое озеро имеет типичную округлую или овальную форму (рис. 28). Озера в провалыных воронках часто отличаются крутизной берегов.

Нередко встречаются карстовые озера сложной, лопастной формы. В этих случаях водой заполнены сложные, составные карстовые ванны, образовавшиеся при слиянии краями нескольких соседних воронок.

Иногда озера в сложных карстовых котловинах до-



Р и с. 28. Карстовое озеро на северном склоне хр. Петра Первого

Фото Н. А. Гвоздецкого

стигают значительных размеров. Типичными примерами таких озер являются: оз. Святое в долине низовья р. Теши (правого притока Оки, впадающего в нее ниже Мурома), достигающее 2 км длиной и 1 км шириной; оз. Чарское и ряд других крупных озер на междуречье Тешы и Сережи. Котловины этих озер образовались слиянием многих карстовых котловин и воронок. Сухим аналогом котловин этих озер служит котловина у селения Болотникова (на правобережье Оки севернее р. Большой Кутры) размерами 1300 на 400 м в плане и до 20—30 м глубиной, состоящая из двух больших слившихся котловин, каждая из которых в свою очередь сложная (Гвоздецкий, Спиридонов, 1971).

В Югославии к югу от Белграда имеется участок покрытого карста в неогеновых ракушечных известняках с множеством карстовых воронок (Петрович и Гаврилович, 1960). Помимо воронок в селении Сремчица, в центре этого участка расположена крупная котловина размерами в плане 600 на 500 м, состоящая из восьми больших слившихся воронок. Ее называют Провалия. А недалеко от этой котловины в том же селении имеет-

ся озеро, представляющее собой затопленную водой подобную котловину. Причем уровень озера находится выше сухой котловины, что говорит об отсутствии связи его воды с основным уровнем грунтовых вод.

Есть озера, занимающие пониженные участки днищ полей, например оз. Церкнишко в одноименном поле в Словении (Югославия) сейчас с искусственно зарегулированным оттоком воды. Другие югославские поля, а у нас котловина Городно на Валдайской возвышенности (Поршняков, 1939) периодически затопливались водой и превращались во временные озера.

В соответствии с разными способами образования отрицательных поверхностных карстовых форм неодинаковым может быть и происхождение озерных котловин (поверхностного выщелачивания, провальное, просасывания и пр.). Оно может быть сложным, полигенетическим, с преобладающей или подчиненной ролью карстовых процессов. Основным процессом в формировании указанной выше котловины у Болотникова был карстовый, но эрозионные процессы также участвовали в моделировке ее краев.

Г. А. Максимович (1969) выделяет озерные котловины: карстовые и тектоно-карстовые; плотинные; преобразованные карстом и сложные; некарстовые с незначительным влиянием карста.

Что касается заполнения озерных котловин водой, то и тут условия могут быть разные. Это может быть скопление поверхностных вод, на манер искусственного копаного деревенского пруда, если понор воронки или котловины оказался заиленным. Вода таких озер, как и озер, питающихся висячими карстовыми водами (на местном водоупоре), является подвешенной по отношению к уровню основного горизонта грунтовых карстовых вод (как у озера в селении Сремчица южнее Белграда). Озерная котловина может быть заполнена грунтовыми карстовыми водами до уровня их зеркала или скатерти (в зоне постоянного полного насыщения при минимальном уровне воды в озере и периодического полного насыщения при повышении уровня). Наконец, это может быть воронка восходящего источника с выходом напорной воды (Цериккель, Голубое озеро в долине Бзыби, Хариствали в Шаорской котловине, сейчас затопленное, на Большом Кавказе, Провалинц в Приангарье и др.).

Периодическое заполнение водой и осушение озерных котловин может быть связано или с колебанием уровня грунтовых вод карста (в зоне периодического полного насыщения), или с большим притоком воды в результате сильных ливней, длительных дождей, снеготаяния, когда водопоглощающие поноры не успевают быстро поглотить большое количество воды и она задерживается в котловине, расположенной над уровнем грунтовых карстовых вод.

Могут быть озера с проточной речной водой. Это, например, озера с травертиновыми плотинами, расположенные каскадами в долинах рек Кораны (Плитвицкие озера) и Крка в Югославии (*Гвоздецкий, 1970*).

Данные о морфометрии карстовых озер, колебаниях их уровней, термике, химическом составе вод и географическом распространении обобщены недавно Г. А. Максимовичем (*1969*).

Проблема типологии карста¹

Покрытый, задернованный, голый и погребенный карст

Широко известны выделенные Л. Савицким (Sawicki, 1909) два типа карста — средиземноморский и средне-европейский, или голый и покрытый. В основу этого деления было положено различное влияние средиземноморского и среднеевропейского климата. Оно освещено в нашей отечественной литературе о карсте (Крубер, 1915, стр. 278; Щукин, 1933, стр. 341—342). Однако покрытый карст образуется не только вследствие особенностей климата, но и геологического строения.

В 1939 г. во время исследований карста одного из районов Северного Кавказа (южнее Кисловодска) мы пришли к выводу о необходимости различать собственно покрытый карст и карст, в котором растворимые породы прикрыты лишь дерновым слоем, состоящим из почвы и травянистой растительности, или имеют элювиально-почвенно-дерновый покров. Это представление изложено нами в докладе о карсте Большого Кавказа на карстовой конференции в Перми (Гвоздецкий, 1947). М. А. Зубашенко (1947) пришел к аналогичному заключению, анализируя карстовые явления Русской равнины, но предложил иную, малоудачную, с нашей точки зрения, терминологию (Гвоздецкий, 1965а)².

Под собственно *покрытым карстом* должен подразумеваться такой карст, в котором растворимые водой

¹ При написании данной главы использован текст ранее опубликованных нами статей: «Вопросы типологии и классификации карста СССР» (1965 а), «Types of Karst in the USSR» (1965); «Bedeckter Karst in der UdSSR» (1964), «Особенности развития карста в горах» (1968) и последнего раздела статьи «Распространение карстовых явлений на земном шаре и вопросы их типологии» (1967 а).

² В этой статье имеются и другие критические замечания, как терминологического характера, так и по существу некоторых предложенных классификаций карста.

карстующиеся породы прикрыты нерастворимыми геологическими образованиями, генетически не связанными с карстующейся толщей: морскими песчано-глинистыми осадками, мореной, флювиогляциальными отложениями, террасовым аллювием и т. п. В районах собственно покрытого карста формы поверхностного выщелачивания отсутствуют, но большую роль играют воронки, ванны, слепые балки и т. п., которые образуются при механическом выносе песчано-глинистого материала просачивающейся водой из покровной толщи в расширяющиеся трещинные поноры и полости в цоколе. Следуя за Ф. П. Саваренским, мы называем такие формы воронками (ваннами и т. д.) просасывания (см. гл. V). Если под нерастворимыми покровными отложениями залегают гипсы, часто возникают провальные формы, которые типичны для гипсового покрытого карста.

От собственно покрытого карста следует отличать такую, в котором растворимые породы не прикрыты иными, нерастворимыми геологическими образованиями, но имеют почвенно-дерновый или элювиально-почвенно-дерновый покров. Такие задернованные карстовые районы отличаются от районов собственно покрытого карста тем, что воронки, ванны и другие формы возникают в них путем поверхностного выщелачивания, однако типичные для голого карста карровые поля здесь отсутствуют. Такой карст мы предложили называть в отличие от собственно покрытого *задернованным карстом* (Гвоздецкий, 1954, стр. 331), т. е. карстом с почвенным и растительным покровом. Этот карст часто встречается по соседству с голым карстом и совместно, чередуясь с ним. Иногда участки почвы голого карста бывают частично и слабо задернованы, тогда можно говорить о полузадернованном карсте.

Оба этих типа карста — собственно покрытый и задернованный — следует, очевидно, рассматривать как разновидности выделенного Й. Цвийичем (Cvijić, 1925, 1960) мерокарста, или несовершенного карста, в отличие от классического карста Динарской области — холокарста, или полного карста¹.

¹ Й. Цвийич выделил еще переходные типы, к которым могут быть отнесены некоторые районы задернованного и полузадернованного карста. В формировании всех типов (холокарст, мерокарст и переходные) существенную роль, по Цвийичу, играют геологические условия. Холокарст развивается в мощных толщах чистых извест-

Голый карст, широко распространенный в СССР преимущественно в южных районах, характеризуется развитием всего комплекса поверхностных карстовых форм, включая карры, которые образуют здесь настоящие карровые поля. В задернованном карсте под почвенным покровом также могут развиваться карры, но там они скрыты и не являются поэтому формами рельефа поверхности. Своеобразие голого карста связано именно с обнаженностью растворимых пород, поэтому термин «голый карст» мы считаем наиболее точно передающим природу и особенности этого типа карста. Этот термин мы предпочитаем термину «открытый карст», который распространен в качестве его синонима.

Открытые карстовые формы свойственны всем названным типам карста, открытый карст невольно может быть противопоставлен *погребенному, или ископаемому, карсту*, который обнаруживается в геологических разрезах и скважинах и геофизическими методами исследования, но ни в рельефе поверхности, ни в ландшафте почти не отражается.

Бронированный карст и другие морфолого-генетические типы

Рассматривая типологию карста в глобальном аспекте (1967 а), мы обратили внимание на выделенный Г. А. Максимовичем (1963) на основании данных Х. Меншинга (1957) среднеатласский, или подвулканический, тип карста и пришли к выводу о том, что этот тип карста действительно шужно выделять особо, поскольку для него характерны только провальные поверхностные формы, а не формы просасывания, свойственные покрытому известняковому карсту (с покровом рыхлых осадков). Точнее, мы пришли к заключению о целесообразности выделения в более широком объеме типа карста, развивающегося под покровом скальных и

няков, мерокарст — в мергелистых и битуминозных известняках, доломитах и отчасти в мелу. Для переходного карста типа косс характерно наличие под карстующейся толщей выступающих на поверхность водонепроницаемых пород, а для переходного карста типа юры — чередование известняковых и мергелистых слоев, часто непроницаемых.

полускальных пород, и подвулканический карст или, вернее, подластовый следует рассматривать в качестве одного из его вариантов.

В Среднем Атласе Х. Меншинг (1957) описал известняковый карст, развивающийся под покровом базальтов. В результате провала базальтового покрова в образовавшиеся под ним пустоты на поверхности базальтового плато возникли воронки.

Карст, развивающийся в трещиноватых известняках мелового возраста под покровом четвертичных андезитобазальтовых лав, отмечен Г. А. Максимовичем (1968) на северном склоне Малого Кавказа в Азербайджане. На междуречье Баксана и Чегема, в верховьях р. Большой Бадьк, на северном склоне Скалистого хребта Большого Кавказа, по данным Н. М. Еременко, карстовые явления развиваются в известняках валанжинна под покровом верхнеплиоценовых эффузивов. На поверхности здесь наблюдаются формы оседания эффузивов — воронки и котловина с глыбами и обломками эффузивов по бортам.

На Северном Кавказе на одном из участков карстовые формы образовались в результате выщелачивания валанжинских известняков под покровом песчаников, относящихся к более высоким ярусам нижнего мела. Это провальные формы — крупная воронка на водоразделе между верховьем Джаманкула и Гунделеном и карстовые озера Шан-Хурей (правильно — Шад-Хурей, по-кабардински «шад» — стоячая вода, «хурей» — круглый). Нами отмечено своеобразие этого карста, его отличие от обычного покрытого карста, которое состоит в том, что вместо характерных для покрытого известнякового карста воронок просачивания здесь распространены провальные формы (1967 б).

Наблюдаются также случаи, когда карст развивается под покровом скальных и полускальных пород, относящихся к категории растворимых, но карстующихся значительно слабее, чем залегающие под ними легкорастворимые породы. Типичный пример — Подольско-Буковинская карстовая область (Дублянский, Смольников, 1969; Чикишев, 1969), где находятся крупнейшие в СССР карстовые пещеры (Оптимистическая и др.). Сложнейшие лабиринты пещерных систем развиты здесь в гипсоангидритовой толще днестровско-ратинского горизонта прутского (верхнетортонского) яруса. Сверху

толща прикрыта плотными хемогенными известняками верхней части того же горизонта и слонистыми известняками пронятийского горизонта. Покрывающие гипсово-ангидритовую толщу известняки служат своеобразной броней, которая позволяет развиваться сложной сети подземных лабиринтов. При отсутствии такой брони своды пещер были бы быстро обрушены, что и наблюдается, например, в районах гипсового карста Польши — к северо-востоку от Кракова, в левобережной части бассейна р. Ниды (возле деревень Скорочице и Александрув).

Нам дважды удалось посетить эти карстовые районы (в 1966 и 1969 гг.). Особенно интересен район Скорочице. Гипсы, относимые польскими исследователями к тортону, здесь такие же, как в гипсово-ангидритовой толще днестровско-ратийского горизонта Подолии. Они сходны по описанию (Дублянский, Смольников, 1969), а также и по свидетельству А. Г. Чикишева, исследовавшего карст Подолии и осмотревшего привезенные нами из Польши образцы. Однако в Скорочице в отличие от Подолии гипсы лишены бронирующего покрова известняковых слоев, непрочный свод карстовых полосей быстро обваливается, отчего здесь господствуют провальные котловины и воронки, соединенные сравнительно небольшими пещерными ходами (Гвоздецкий, 1970).

Учитывая бронирующую роль покрова скальных и полускальных пород, которая особенно наглядно выступает на примере сравнения районов гипсового карста Подолии и Польши, мы предлагаем тип карста, развивающегося под скальными и полускальными породами, называть *бронированным карстом*.

В Подолии широко развиты различные поверхностные формы карста, в том числе характерные для бронированного карста провальные воронки и озера, наблюдается значительное разнообразие и типов карста (Чикишев, 1969). Мы отнюдь не склонны к разнообразию карста Подолии уложить в прокрустово ложе выделенного нами бронированного карста, но наличие его там и широкое распространение несомненно. Вместе с тем в ряде мест Подолии гипсы лишены бронирующего покрова известняков, и в таких местах распространен задержанный и даже голый гипсовый карст. Пример подольского карста показывает, что разные морфолого-генетические типы карста, в том числе вновь выделенный

бронированный карст, отличаются друг от друга не только генезисом и характером поверхностных форм, но и подземными формами.

Один из основных морфолого-генетических типов карбонатного карста тропиков — это *останцовый карст* (фуллинный), называвшийся еще карстом «сахарных голов», а в немецкой литературе — турмкарстом и кегелькарстом, т. е. башенным и коническим карстом. В СССР он распространен только в виде реликта палеогеографических условий палеоген-неогенового времени. Так, предположительно к этому типу мы отнесли останцовый карстовый ландшафт в районе оз. Эрцо в Западной Грузии (*Гвоздецкий, 1954, стр. 333*). На основании данных собственных наблюдений к останцовому карсту мы отнесли останцовые формы в известняках Алайского хребта и Восточного Памира. Этим формам посвящена отдельная наша статья, где рассмотрена и литература, касающаяся известняковых останцов Памиро-Алайской системы.

К особому морфолого-генетическому типу должен быть отнесен *карст, развивающийся в условиях вечной мерзлоты*. Возможность развития карста в этих условиях не только по таликам, путям циркуляции вод к источникам и в подмерзлотном горизонте, о чем писал Ю. П. Пармузин (*1953, стр. 103; 1954, стр. 47*), но и над мерзлым слоем была нами отмечена на основании исследований в Восточной Сибири Н. С. Благоволитца (*Гвоздецкий, 1954, стр. 333*). В статье С. С. Коржуева (*1965*) о карсте Якутии это мнение получило подтверждение и дальнейшее развитие.

Морфолого-генетические и литологические типы карста, их совмещение

Таким образом, на территории СССР можно выделить следующие основные морфолого-генетические типы карста, существование и развитие которых определяется геологическими условиями (перекрытостью или обнаженностью карстующихся горных пород и т. п.) либо исключительным своеобразием общей физико-географической (ландшафтной) обстановки: 1) погребенный, или ископаемый, карст; 2) бронированный карст; 3) покрытый карст; 4) задернованный карст; 5) голый карст;

6) останцовый тропический карст (в СССР только реликтовый); 7) карст, сочетающийся с вечной мерзлотой.

Все эти типы существенно отличаются друг от друга морфологически и генетически различными поверхностными (иногда и подземными) карстовыми формами и их сочетанием (а первый тип — отсутствием поверхностных форм).

Эти типы в ряде случаев отличны и по геохимическим особенностям. Так, например, голому карсту, по А. А. Колодяжной (1970), соответствует первый тип зоны аэрации в карбонатном карсте, где поглощение вод преобладает над поверхностным стоком и атмосферные осадки через трещины, поноры, воронки и т. д. непосредственно попадают в толщу обнаженных карбонатных пород. Соприкасаясь с ними, просачивающиеся воды быстро утрачивают свою агрессивность и приобретают гидрокарбонатно-кальциевый состав. Задерживаемому карсту соответствуют второй и третий типы зоны аэрации в карбонатном карсте.

Второй тип относится к областям распространения кислых почв, залегающих на карстующихся карбонатных породах (в тундре, тайге, смешанных лесах, заболоченных пространствах, влажных субтропиках). Инфильтрация атмосферных осадков сопровождается увеличением их кислотности за счет обменного водорода и алюминия, органических и минеральных кислот, уголекислоты и т. д., в связи с чем вода приобретает агрессивность, утрачивая ее уже в толще карбонатных пород, где она приходит с породой в химическое равновесие, приобретает гидрокарбонатно-кальциевый состав и щелочные свойства. Третий тип относится к областям распространения щелочных, преимущественно черноземных, почв на карбонатных породах (в лесостепи и степи). Химические и коллоидно-химические процессы черноземной зоны во многом зависят от наличия гумуса и его взаимодействия с минеральной частью почвы и водными растворами. Кислая природа гуминовых веществ и коллоидный их характер — основной фактор обменной поглотительной способности почвы. Атмосферные осадки приносят в черноземную зону Русской равнины много кальция (3—5 т/кв. км) и магний (0,6 т/кв. км). Инфильтруясь через гумусовые горизонты черноземов, они теряют ионы кальция и магния, которые уходят из раствора при катионном обмене или процессах сорбции. Утрачивая кальций и магний, вода приобретает ионы водорода, увеличивая свою кислотность. Имеют также значение легко разрушающиеся карбонаты фульвокислоты.

К покрытому карсту, где покровом служат пески или песчаногалечные отложения (алювиальные, флювиогляциальные, морские), существенно не меняющие состава просочившихся через почву вод, относится четвертый тип зоны аэрации, в карбонатном карсте. Если же покровные отложения в покрытом карсте содержат включения или примеси пирита и инфильтрующаяся вода (с преобладанием $\text{SO}_4^{=4}$) приобретает наибольшие агрессивные свойства, формируется пятый тип зоны аэрации карбонатного карста.

Названные выше основные морфолого-генетические типы не дают еще полной классификации карста СССР.

Хотя попытки учесть в равной степени все многообразие условий развития и особенностей карста обречены на неудачу (об этом свидетельствует опыт Н. И. Соколова, 1960; см. также: *Максимович, 1963*, гл. II), но некоторые главные различия в условиях формирования карста должны быть учтены, прежде всего литологические различия.

Разная растворимость горных пород, скорость растворения и быстрота насыщения растворителя, различия процессов растворения карбонатных и некарбонатных пород, их разные изменения от температурных (а потому и климатических) условий — все это влияет на особенности развития карста, его морфологию и практическую, в частности инженерно-геологическую, оценку. Поэтому кроме основных морфолого-генетических типов следует различать еще литологические типы карста: известняковый карст, доломитовый карст, карст в мраморах, меловой карст (включая карст в мелоподобных мергелях), гипсово-ангидритовый карст, соляной карст.

Если мы соединим (совместим) теперь обе классификации, поставив, таким образом, на первый план морфологию и литологию, то получим более или менее полный перечень основных типов карста в СССР, которые следует сгруппировать еще в два класса — *равнинного* и *горного карста*.

Равнинный и горный карст, особенности горного карста

Вопрос о разделении равнинного и горного карста поднял А. В. Ступинин (1953, 1956), который отметил невозможность полного отождествления горного карста с геосинклинальным, а равнинного с платформенным, хотя в большинстве случаев эти геоморфологические и тектонические подразделения совпадают. Поэтому основными признаками горного карста А. В. Ступинин (1953) считает сильную дислоцированность карстующихся пород, их интенсивную трещиноватость и приподнятость тектоническими процессами, что обуславливает большую мощность толщ, подверженных карстованию. А. В. Сту-

пишин отметил также возможность выделения высокогорного и низкогорного карста.

Действительно, в горах, как правило, карстующиеся толщи дислоцированы более интенсивно, чем на платформенных равнинах (исключение составляют остаточные равнины типа пенеплена и т. п.). Поэтому здесь наблюдаются разнообразные условия залегания карстующихся толщ и более интенсивная их трещиноватость, способствующая развитию карста.

В горах очень разнообразна интенсивность закарстованности, связанная с местными условиями. Исключительная роль принадлежит дизъюнктивным тектоническим нарушениям; обводненные зоны часто бывают приурочены к разломам и зонам дробления.

Хотя из-за крутизны склонов в горах поверхностный сток относительно больше, чем на равнинах, а инфильтрация обычно меньше, но при большем, чем на соседних равнинах, количестве осадков и из-за длительности просачивания талых снеговых вод в горах часто наблюдается весьма интенсивная циркуляция подземных вод, производящих значительную работу по выщелачиванию горных пород на глубине. В известняковых складчатых горах нередко образуется сложная система артезианских бассейнов, определяющая активную циркуляцию и выходы напорных вод в виде восходящих источников (Гвоздецкий, 1952а). В моноклинальных структурах, например в области Северо-Кавказской моноклинали, создаются гидрогеологические условия так называемого артезианского склона, также обеспечивающие восходящий выход напорных вод (там же). В обоих случаях гидрогеологические различия в зонах питания подземных вод, их движения по наклону слоев и разгрузки приводят к существенным различиям в морфологии карста этих зон.

В горных карстовых массивах часто наблюдаются случаи, когда не обнаруживается единая уровенная поверхность (скатерть) подземных вод. Подземные реки либо дренируют подземные воды, либо ведут себя как обособленные, «висячие» водотоки.

Развитие подземной циркуляции вод и обусловленное ею карстование в глубине горных массивов идут на фоне интенсивных тектонических поднятий. Разработка подземной гидрографии не успевает, как правило, за поднятием и врезанием поверхностных рек. Поэтому

естественно, что в горах в отличие от равнинных платформенных территорий не наблюдается установленная Д. С. Соколовым (1962, стр. 265) «повышенная закарстованность придолинных участков по сравнению с ядрами водораздельных массивов», на что обратил внимание А. Г. Лыкошин¹. Другим следствием запаздывания развития подземной гидрографии является несоответствие или неполное соответствие горизонтальных пещерных галерей террасовым уровням речных долин в горах. Об этом свидетельствуют источники воклюзского типа, наблюдающиеся в бортах речных долин на высоте нескольких десятков метров над тальвегом. Примерами могут служить Андреевская пещера в долине Западной Гумисты, близ Сухуми, источник Абшир-Булак в известняковой передовой цепи Алайского хребта (Гвоздецкий, 1950, 1954, 1960).

Большие различия в развитии горного карста происходят от того, приподнято ли некарстующееся ложе, подстилающее карстующиеся толщи горных пород, над соседними долинами, как на яйлинских плато Горного Крыма или на массиве Фишт — Оштен — Лагонаки и куэстах северного склона Большого Кавказа (тип косс,

по И. Цвийичу — *Cvijić*, 1960), или оно глубоко опущено, иногда ниже не только уреза соседних долин, но и уровня моря, например в Гагринском хребте южного склона западной половины Большого Кавказа, где под откосом его окончания находятся субмаринные источники. Важны еще и гипсометрические соотношения горного карстового массива с соседними горными пространствами, которые определяют или исключают возможность транзитного стока. Л. Якуч (Jakucs, 1967, 1968) положил этот признак в основу типологии карстовых массивов Венгрии.

В горах и на равнинах наблюдаются различные соотношения между трещинами бортового отпора (Лыкошин, 1953) и тектоническими трещинами, раскрытыми силой бортового отпора и расширенными в результате отседания отчлененной массы (Гвоздецкий, 1966). Такие раскрытые трещины в горных известняковых и известняково-доломитовых районах наблюдаются, вероят-

¹ В докладе на VI пленуме карстовой секции научного совета по инженерной геологии и грунтоведению при отделении геологии, геохимии и геофизики секции наук о Земле АН СССР 27—29 мая 1969 г.

но, чаще, чем собственно трещины бортового отпора, и играют большую роль в развитии карста.

Проявление в горном карсте высотной зональности (Гвоздецкий, 1950, 1954) позволяет выделить подклассы горного карста — низкогорный, среднегорный и высокогорный. Конечно, различия между ними могут меняться в зависимости от типа карста (голый известняковый и др.) и региональных особенностей территории. Во всех случаях высокогорный карст отличается от низкогорного не только активностью карстового процесса (Стушишин, 1953), которая на самом деле не всегда наблюдается, но и физико-географическими, а также палеогеографическими условиями развития.

На необходимость выделения карста высоких гор в свое время указал Г. Шабо (Chabot, 1925). На основании исследования карста в СССР мы также пришли к выводу, что высокогорный карст заслуживает особого выделения (Гвоздецкий, 1950, 1954).

Высокогорный карст развивается в суровых условиях высокогорного климата и в тех высотных зонах и поясах, которые подвергались действию плейстоценового оледенения гор. По данным И. Секиры (Sekyra, 1964), современные коррозионные процессы в Заалайском хребте Памиро-Алайской горной системы наблюдаются до абсолютной высоты 4200—4300 м.

Исследования карста Большого Кавказа и гор Средней Азии (Гвоздецкий, 1952а, 1960, 1965б, в) позволили выяснить некоторые типичные особенности высокогорного карста: это исключительная роль в развитии современного карста талых снеговых и отчасти фирновых и ледниковых вод; роль стаивания фирновых полей и ледников четвертичных оледенений; развитие карстовых форм на древнеледниковых образованиях (днища ледниковых цирков и т. п.)¹; непосредственная связь гляциальных, нивальных и коррозионных процессов; расчленение карровых полей редкими, но глубокими и широкими бороздами и трещинами; наличие трещин, колодцев и шахт, часто наполненных снегом и льдом (Большой Кавказ).

В массиве Арабика, на Гагринском хребте, тип кар-

¹ На Кавказе это отмечено также К. Г. Мгеладзе (1961, стр. 288) и Т. З. Кикнадзе (Kiknadze, 1965) для массива Арабика. Ш. Я. Кипиани (1965) высокогорный карст Грузии называет высокогорно-гляциальным.

стовых воронок конической формы замещается колодцами и шахтами, в которых круглогодично лежат снег и лед (Маруашвили, 1961). Л. И. Маруашвили объясняет это влиянием древнего оледенения, которое не позволяло развиваться и сохраняться воронкообразным впадинам. Этому, однако, противоречат данные исследований П. А. Костина (1966) на массиве Фишт — Оштен — Лагонаки в Западном Кавказе, где в зоне плейстоценового оледенения есть карстовые воронки, забитые моренным материалом из известняковых глыб, противоречат также и сведения из иностранной литературы. Вероятно, главным здесь являются условия развития, а не сохранения воронок, но многое зависит от мощности и активности движения льда.

В Динарском нагорье, по нашим наблюдениям в Черногории (Гвоздецкий, 1968, 1970), сочетание древних гляциально-нивальных образований с карстовыми наблюдается на более низких уровнях, чем на Кавказе и в горах Средней Азии.

Обширный материал, подтверждающий наши выводы, сделанные на основании изучения Большого Кавказа и Средней Азии, приводят швейцарские, австрийские, итальянские и французские исследователи высокогорного карста Альп (Bauer, 1958, 1964; Bögli, 1964; Silvestri, 1968; Гвоздецкий, 1968).

Ж. Корбель (Corbel, 1957) и Ф. Бауер (Bauer, 1961) попытались выяснить в приледниковых участках высокогорья соотношение карстовых форм и оледенения, учитывая динамику ледников в историческое время. В высокогорных карстовых массивах Хох-Кёниг и Дахштейн (Австрийские Альпы) Ж. Корбель обнаружил сочетание следов оледенения с реликтовыми формами кегелькарста (сходного с тропическим), вероятно сохранившегося с неогена, т. е. с эпохи теплого климата, предшествовавшей заключительному этапу большого поднятия, которое вызвало похолодание. Такая консервация древних карстовых форм в условиях оледенения говорит о слабом растворении известняков под ледниками. Правда, Корбель отмечает, что верхушки башен останцового карста могут выступать из-под льда. В то же время Ф. Бауер с помощью анализа тонких известковых осадков, возникших под двигающимся ледником, доказал, что карровые поля на поверхностях, свободных с 1850 г. от ледника, являются реликтами карров, кото-

рые появились под почвенным покровом до 1600 г., т. е. до последнего наступления ледника (Вауер, 1961)¹. Следовательно, под ледником могут сохраняться даже карры, по крайней мере при его относительно кратковременных подвижках.

Особенности и различия *среднегорного* и *низкогорного* карста сильно варьируют в зависимости от физико-географической обстановки. Во внутриматериковых областях с резко континентальным аридным климатом низкогорный и среднегорный карст, особенно развивающийся в условиях высокого среднегорья (1500—2500 м), сильно отличаются один от другого (см. гл. X). Карст среднеазиатских известняковых низкогорий мы выделили как особый вариант голого карста (*Гвоздецкий, 1954*). В высоком же среднегорье хребтов Каратау (Олли, 1958) и Зеравшанского встречается типичный вашиновый рельеф голого карста, который в некоторых случаях напоминает карст крымских яйл (рис. 29). Правда, карровые поля здесь сильно разрушены морозным выветриванием.

Различия между низкогорным и среднегорным карстом в горах с гумидным климатом умеренных широт и субтропическим проявляются менее ярко. Но в среднегорье в связи с увеличением количества осадков и уменьшением их испарения, как и в континентальных областях, карстовые процессы должны развиваться более интенсивно, чем в низкогорье. Среднегорное Накеральское плато (Рачинский хр. на южном склоне Центрального Кавказа) с высотами 1300—1400 м, например, район наиболее интенсивного развития карста в СССР (*Гвоздецкий, 1965* в). На высотах более 1000 м особенно сильно развит карст и в Горном Крыму.

В среднегорье, как и в высокогорье, большую роль в развитии карста играют талые снеговые воды (*Гвоздецкий, 1954; Дублянский, 1963*). Но вместе с тем выпадающие здесь и в низкогорье сильные ливни удлиняют действие трех первых фаз растворения известняка и способствуют развитию желобковых карров. Желобковые карры встречаются, однако, и в высокогорье. А. Ко-

¹ Подобное явление могло иметь место и на Кавказе, например на массиве Фишт-Оштен. Г. К. Тушинским (1966) доказано, что в средневековые («архызский перерыв») оледенение Большого Кавказа, сильно сократившись, местами полностью исчезло и к стадии фернау зародилось вновь.



Рис. 29. Известняковый карст на плато Кырктау в системе Зеравшанского хребта.

Фото Н. А. Гвозденко

тарба (см. гл. V), характеризующий желобковые карры как стоковые в виде мелких канавок, считает их типичными для высокогорной зоны известняковых Западных Татр (1850—2123 м). Мы наблюдали желобковые карры в Восточном Памире на высоте около 3900 м.

В тропиках тоже наблюдается высотная зональность карста, иногда она отчетливо проявляется в его морфологии. Г. Верстаппен (Verstappen, 1964) описал своеобразный тип тропического карста, названный им лабиринтовым, который он встретил в горах Стар, в центральной части Новой Гвинеи, на высоте 1000—2000 м. В тех же горах на высоте от 2000 до 4000 м к коралловым известнякам приурочены формы тропического останцового карста (кегелькарста), а к плотным фораминиферовым известнякам — комплекс карстовых форм, напоминающий карст умеренного пояса. Для расположенной выше 4000 м альпийской зоны характерны карры и мощные, уходящие по вертикали вглубь пещерные полости. Таким образом, и в тропиках сохраняются

морфологические особенности, свойственные высокогорному карсту.

Морфологические различия карста разных высотных ступеней связаны не только с общим изменением физико-географической обстановки, но и некоторыми специфическими условиями развития карста в прошлом, т. е. с палеогеографическими особенностями. Например, в Горном Крыму характерные котловины наиболее возвышенных участков Яйлы образовались, по-видимому, в ледниковую эпоху в результате растворения известняков талыми водами снежных долей и пятен (*Гвоздецкий, 1954*). Такие же котловины встречаются в пригребневой зоне куэстовых плато Скалистого хребта на Северном Кавказе, а на более низкой высотной ступени располагаются связанные с ними происхождением крупные провальные воронки (*Гвоздецкий, 1952 а, 1954, 1965 б*).

В верхней зоне средневисотных гор, не достигавших снеговой линии эпохи плейстоценового оледенения, развитие карста сочеталось с процессами, свойственными перигляциальному климату. Такие условия создавались, например, на хребте Мосор в Динарских горах в Югославии (*Гвоздецкий, 1970*), а у нас, очевидно, на яйлах Горного Крыма и средневисотных грядах и массивах Кавказа, ниже снежно-ледниковых полей. М. Бляху (*Bleahu, 1966*) сделал попытку определить этапы карстогенеза в горах Бихор (Румыния), где перигляциальный климат плейстоцена и чередование ледниковых и межледниковых эпох отразились не только в поверхностной морфологии, сочетающей в себе карстовые формы с солифлюкционными поверхностями и формами криотурбации, но также и в морфологии подземных карстовых полостей — пропастей и пещер.

В целом горный карст имеет много специфических черт, а закономерности распределения его вариантов, т. е. подклассов, и морфологические особенности обусловлены различными факторами. Среди них в качестве главных можно назвать: 1) особенности геологической структуры, общей истории геолого-геоморфологического развития гор и связанные с ними особенности поверхности горных карстовых массивов и циркуляции подземных и поверхностных вод; 2) палеогеографическая обстановка развития гор в плейстоцене; 3) высотная зональность современной географической среды.

Типы карста в СССР

Мы не ставили своей задачей дать полную многоступенчатую классификацию карста СССР, а остановились только на общих принципах в той мере, в какой это необходимо, для того чтобы выделить основные типы (сгруппированные по двум классам — горного и равнинного карста), имея в виду, что каждый из них включает в себя различные подтипы (варианты) и разновидности, при выделении которых можно учесть остальные факторы, влияющие на развитие карста, а также возраст, интенсивность и стадию его развития.

Погребенный известняковый и доломитовый карст разного геологического возраста довольно широко распространен на Русской равнине (Якушова, 1949; Ступишин, 1956, 1960, 1967; Родионов, 1963). Горный карст этого типа известен на Кавказе, в частности в Сочинском гидрогеологическом бассейне (доэценовый карст, по нашим данным и материалам А. М. Овчинникова, 1947, стр. 143). Погребенный известняковый и доломитовый карст — как равнинный, так и горный — известен в Сибири (в том числе очень древнего, докембрийского возраста), на Урале (Чижишев, 1958) и в Казахской складчатой стране, где открытые полости погребенных карстовых поверхностей нередко содержат крупные скопления бокситов (Бушинский, 1965).

Погребенный карст в мраморах в своеобразной форме тропического останцового карста мезозойского возраста обнаружен на Среднем Урале, в районе г. Верхнего Уфалея (Дубовик, 1963). Может быть, мраморизация известняков произошла после образования и погребения останцов.

Погребенный меловой карст, развившийся до отложения осадков палеогена, а также и в неогене, встречается на Среднерусской возвышенности, причем формы этого древнего карста значительно крупнее развитого здесь современного карста в мелу (Дублянский, 1937; см. также статью Ф. Н. Милькова, 1965).

Погребенный гипсово-ангидритовый карст также известен на Русской равнине, встречается он, например, в Среднем Поволжье (Ступишин, 1956, 1960, 1967; Родионов, 1963).

Покрытый известняковый карст распространен очень широко во многих районах Русской равнины, где кар-

стующиеся известняки покрыты континентальными четвертичными отложениями — либо мореной, либо флювиогляциальными или аллювиальными осадками. Классическим примером горного покрытого известнякового карста являются участки к юго-западу от Кисловодска на Северном Кавказе, где карстовые формы развиты на структурных террасах и плоских днищах лощин, сложенных валажжинскими известняками, которые покрыты шерастворимыми рыхлыми осадками готерива (Гвоздецкий, 1965 б). Горный покрытый известняковый карст местами типично выражен и на хр. Петра Первого, где имеются воронки просасывания в террасовом аллювии (в долине р. Обикулик) и в наносах, выстилающих днища карстовых котловин, например у перевала Куляк (Гвоздецкий, 1960).

Покрытый доломитовый карст также встречается на Русской равнине, сочетаясь с известняковым и гипсово-ангидритовым карстом. Типичный пример покрытого доломитового карста дает Приангарье, где на террасах Ангары под аллювием залегают кембрийские доломиты, образующие цоколь террас (Гвоздецкий, 1952б).

Покрытый карст в мраморах не описан в известных автору работах по территории СССР, но он может быть встречен не только в складчатых горных районах Среднего Урала, Алтая, Саян, но даже и в платформенных условиях Русской равнины, в частности на восточной окраине Балтийского щита, где, например, вдоль Повенецкого залива Онежского озера протягивается широкая полоса мраморов и метаморфизованных карбонатных пород протерозоя (Родионов, 1963). Вообще карст в мраморах часто сочетается с карстом в не полностью перекристаллизованных (мраморизованных) известняках.

Покрытый меловой карст распространен на Среднерусской возвышенности и в других районах Русской равнины (Мильков, 1957, 1965; Чикишев, 1965).

Покрытый гипсово-ангидритовый карст, как и карбонатный, очень широко развит во многих районах на Русской равнине, где гипсы перекрыты мореной, флювиогляциальными и аллювиальными отложениями, а нередко залегают слоями и линзами среди некарстующихся осадков. Карст, в котором гипсы перекрыты иновозрастными, четвертичными морскими осадками, наблюдается в окрестностях оз. Баскунчак, на Прикаспийской низменности (Гвоздецкий, 1954, стр. 245—246; Родионов,

1963, стр. 151—154). Покрытый гипсовый карст есть в Приангарье, на участках к северу от доломитового карста (Гвоздецкий, 1952 б).

Горный гипсово-ангидритовый карст покрытого типа нами описан на Северном Кавказе. Гипсовый карст с покровом морены наблюдался нами в горах Средней Азии — на хр. Петра Первого и у северного подножия Заалайского хребта в его восточной части (Гвоздецкий, 1957, 1960 а; Tesarik, 1958), а также в районе перевала Томурун на поднятии, замыкающем с востока Алайскую долину.

Покрытый соляной карст известен на Илецком и Солотвинском соляных куполах, в Бахмутской котловине и в других районах (Дзенс-Литовский, 1940, 1966; Короткевич, 1970).

Задернованный известняковый карст, а также и доломитовый на Русской равнине распространены гораздо меньше, чем покрытый. Пустынный вариант известнякового карста с почвенно-элювиальным покровом, блюдцами и западинами поверхностного выщелачивания свойствен плато Устюрт (Кузнецов, 1965).

Горный задернованный известняковый карст очень широко распространен на Кавказе. Г. А. Максимович (1963, стр. 66—70), ссылаясь на наши исследования, назвал этот карст кавказским, считая его весьма характерным для Кавказа. Действительно, на Кавказе этот тип карста является, пожалуй, наиболее распространенным. Он встречается во всех районах голого карста в сочетании с ним, но особенно типичен для передовых хребтов северного склона Большого Кавказа, где голый карст распространен лишь фрагментарно. Горный задернованный известняковый карст развит также в Горном Крыму, где он сочетается с наиболее бросающимся в глаза голым карстом, а также на Урале, Алтае, на хр. Петра Первого и в других горных областях. На хр. Петра Первого, у перевала Куляк, нами отмечен высокогорный подкласс этого типа (Гвоздецкий, 1960, стр. 202—203).

Задернованный карст в мраморах частично развит в северном районе Горного Алтая, где карстуются отложения синия и кембрия и где карст в мраморах сочетается с более широко распространенным там карстом в мраморизованных известняках. Карст в мраморах архея обнаружен в Восточном Саяне.

Задернованный меловой карст типично выражен на Среднерусской возвышенности, в Жиздринском районе Калужской области (Чижишев, 1965).

Задернованный гипсово-ангидритовый карст на Русской равнине значительно менее распространен, чем покрытый. В основном он здесь сопровождает участки голого карста, например в Башкирии на крутом коренном берегу долины р. Аургазы и в других местах.

Горный задернованный гипсово-ангидритовый карст встречается на Северном Кавказе, в Средней Азии на хр. Петра Первого, например близ кишлака Полима.

Задернованный соляной карст наблюдается лишь в южных районах СССР с малым количеством осадков. Он сочетается с голым соляным карстом и из-за разреженности солончаковой растительности может быть охарактеризован как полузадернованный вариант.

Голый известняковый карст на Русской равнине распространен фрагментарно (Чижишев, 1965). На других равнинных территориях СССР он также почти не встречается. Зато в горах юга СССР этот тип карста распространен весьма широко и во многих вариантах.

Горный голый известняковый карст классически выражен на яйлах Горного Крыма, особенно на Караби-яйле, Чатырдаге, Бабуган-яйле, Ай-Петринской яйле. Он представлен там двумя подклассами, свойственными более высокому и менее высокому ярусам плато (Гвоздецкий, 1954, стр. 250—251). На Северном Кавказе голый известняковый карст в основном распространен фрагментарно, наиболее интенсивно развит на массиве Фишт — Оштен — Лагонаки (особенно в той его части, которая называется Каменное море), где представлен высокогорным подклассом. Высокогорный голый известняковый карст характерен для наиболее приподнятых участков известняковых хребтов и плато южного склона Западного и Центрального Кавказа. Голый известняковый карст горного класса встречается на Алтае.

Среди среднегорных и низкогорных подклассов голого известнякового карста помимо классического (среднеземноморского), свойственного Горному Крыму, особенный интерес представляют субтропический вариант, отмеченный нами для Накеральского плато (системы Рачинского хребта) в Западной Грузии (Гвоздецкий, 1965 а), и аридно-континентальный вариант, распространенный в Средней Азии.

Голый карст в мраморах распространен небольшими фрагментами в северной низкогорной части Горного Алтая (у русла р. Катунь) и, по данным В. И. Беляка (1968), в гольцовой высотной зоне Восточно-Саянского антиклинория, где слабо закарстованы мраморы и мраморизованные известняки протерозоя.

Голый гипсово-ангидритовый карст типично выражен на Русской равнине у оз. Индер (Яцкевич, 1937; Годлевский, 1937; Родионов, 1963, стр. 154—156); встречается он также в Башкирии и в других районах. Фрагменты горного голого гипсового карста есть на северном склоне Большого Кавказа.

Голый соляной карст развит на участках соляных месторождений в разных районах нашей страны (Дзенс-Литовский, 1940, 1966; Короткевич, 1970). Известны как равнинные участки голого соляного карста (например, у оз. Индер), так и горные (гора Ходжа-Мумин в Западно-Таджикской депрессии).

Останцовый тропический известняковый карст, как уже говорилось, представлен у нас в СССР только реликтовыми формами.

Карст, сочетающийся с вечной мерзлотой, развит на севере и востоке Сибири и представлен разными литологическими типами — известняковым, доломитовым, гипсово-ангидритовым и соляным. Этот карст довольно полно изучен на примере Якутии (Коржуев, 1965). Карст в области вечной мерзлоты распространен и на севере Уральской карстовой страны (Родионов, 1963).

Разнообразие типов карста в СССР и условий их развития делает весьма плодотворным сравнительное географическое изучение карста. Один из опытов такого изучения был доложен нами на Всесоюзном совещании по палеогеографии и геоморфологии Кавказа в 1963 г. (Гвоздецкий, 1965 в).

Типы карста мира.

Особенности некоторых типов, не встречающихся в СССР

Все морфолого-генетические типы карста, выделенные на территории СССР, встречаются и за рубежом. Карст, сочетающийся с вечной мерзлотой, кроме Сибири и северо-востока Европейской части СССР развит, напри-

мер, на Шпицбергене. Остальные типы распространены очень широко, что видно из приведенного ниже обзора (гл. X).

Останцовый тропический карст в Западной Европе, как и в СССР, распространен только в ископаемой и реликтовой формах. Хочется обратить внимание на перспективность применения гипотезы Л. Б. Рухина (1955, 1958) о смещении оси вращения Земли, полюсов и экватора в ходе геологической истории для объяснения распространения палеокарста тропического типа¹. Современный, но достаточно древний по началу своего формирования останцовый карст очень широко развит в тропическом и экваториальном поясах Земли (хотя некоторые исследователи его считают в значительной части также реликтовым, см. Sekyга, 1964). Он представлен несколькими подтипами и разновидностями: куполовидным останцовым карстом, башенным карстом, коническим карстом. На развитие останцового карста влияют тектонические движения (Щукин, 1964; Геллерт, 1966; Gellert, 1961; Šilar, 1963).

Начальные стадии расчленения известняковых нагорий часто встречаются по соседству с типично выраженным останцовым карстом. В этом случае останцы обычно поднимаются среди карстовых краевых равнин, в других случаях они могут быть и не связаны с ними и сочетаются с многочисленными впадинами, нередко округлой воронкообразной формы, как, например, в останцовом карсте Пуэрто-Рико или в лабиринтовом карсте Новой Гвинеи, о котором мы уже упоминали, как о составляющем нижнюю высотную зону тропического карста гор Стар. Г. Верстаппен (Verstappen, 1964) отмечает, что этот тип карста развит преимущественно в коралловых известняках и характеризуется сочетанием холмов пирамидальной формы с округлыми воронками. Морфологически он не похож на останцовый тропический карст, башенный или конический, так как его холмы не имеют отвесных склонов, а гометиче-

¹ И. Секира (Sekyга, 1964) указывает, что по распространению реликтового конического карста можно судить о значительном отклонении экватора (более 50° широты по сравнению с нынешним положением) в верхнем мезозое и палеогене. На смещение экватора обращает внимание и Я. Шилар (Šilar, 1963).

ски не похож именно тем, что он развивается вне связи с карстовыми краевыми равнинами.

Особым морфологическим типом тропического карста является карст с гигантскими острыми карровыми ребрами, описанный, например, Л. Кюизинье в Индокитае (Cuisinier, 1929; Гвоздецкий, 1954, стр. 291). Вероятно, близок к нему и знаменитый «Каменный лес» Юньнаньского нагорья Китая (Агошков, 1961; Русанов, 1962), который также рассматривают как поверхность с каррами (Геллерт, 1966), во всяком случае в начальной стадии ее развития (Русанов, 1962). В целом же этот тип занимает как бы промежуточное место между голым и останцовым карстом.

Своеобразные морфологические типы тропического карста составляют карст со сплошным распространением глубоких крутостенных впадин (в отдельных участках на Кубе и Ямайке) и карст низких приморских равнин с обводненными естественными туннелями и провалами на поверхности (Юкатан, Флорида). К особому морфолого-генетическому типу тропического карста, должен быть отнесен карст коралловых рифов, приподнятых над уровнем океанического прибоя (Гвоздецкий, 1954, стр. 339).

Следует отметить особый вариант голого карста, встречающийся в суббореальном поясе в области ледникового сноса, с которым в данном случае, а не с климатом связана оголенность известняковой поверхности. Такой голый карст с замшелыми каррами и выступами известняка в виде небольших останцов наблюдался нами на принадлежащем Швеции острове Готланде (Гвоздецкий, 1970).

За рубежом, например в полосе Адриатического побережья Югославии, на отрезке, называемом Далматинском побережьем, широко распространен голый морской карст, обязанный своим возникновением растворяющей деятельности морской воды как в надводной приурезовой полосе зоны прибоя (рис. 30), так и в подводной зоне (Зенкович и Каплин, 1965). В СССР он встречается фрагментарно (например, на побережье Мангышлака), отчего не выделен нами в качестве одного из основных типов.

Карбонатная агрессивность морских вод связана с содержанием в них CO_2 , что обусловлено почти одинаковой карбонатной емкостью морской и дистиллирован-



ной воды. Понижающее растворимость кальцита «действие содержащихся в морской воде ионов Ca^{++} нацело подавлено противоположным влиянием других ионов» (Соколов, 1962, стр. 94). Большую роль в этом играет преобладающий в морской воде хлористый натрий. «Недонасыщенность основной массы современных морских вод по отношению к кальциту и доломиту определяет потенциальную возможность развития карбонатного карста под действием этих вод» (там же, стр. 201).

Основные типы карста Земли, как и типы карста СССР, выделяются путем совмещения морфолого-генетической классификации с литологической. Некоторые морфолого-генетические типы могут быть представлены по существу только одним литологическим вариантом, например карст коралловых рифов, естественно, может быть лишь известняковым. Только карбонатным, вероятно, может быть останцовый карст влажных тропических областей, так как останцы легче растворимых пород — гипса, ангидрита, каменной соли — при обилии атмосферных осадков были бы быстро уничтожены.

Считают (см. *Щукин, 1964*), что останцовый тропический карст развивается только в чистых толстослоистых или массивных известняках. Однако, судя по ископаемым формам карста этого типа, имеющимся на Среднем Урале, в районе Верхнего Уфалея (Дубовик, 1963), и в Северо-Моравской карстовой области (Чехословакия), в карьере у Супиковице (*Гвоздецкий, 1970*), он может развиваться также и в мраморах. Возможно, однако, что мраморизация известняков произошла после образования карста.

Еще одно замечание в отношении разграничения известнякового и доломитового карста. При обзоре крупных территорий это бывает трудно выполнить, поскольку эти два литологических типа обычно друг другу сопутствуют, но при детальном исследовании оно необходимо. При прочих равных условиях карст в известняках развивается интенсивнее, чем в доломитах. В Приангарье, например, в районе известняково-доломитового карста наиболее интенсивно закарстована изве-

Рис. 30. Карст морского побережья Адриатики Южный берег острова Брач возле селения Бол.

Фото Д. Дукича

ствяковая худугунская свита (Соколов, 1957). На Центральных равнинах США поверхностные и подземные формы карста также интенсивнее развиты не в доломитах, а в известняках, что сразу бросается в глаза при знакомстве с литературой, ссылки на которую помещены в обзоре (гл. X). Отмечаются и морфологические различия известнякового и доломитового карста. Очень наглядно они проявляются в области голого и полузадернованного Классического и Динарского Карста Югославии, что подчеркнуто Г. Вагнером (Wagner, 1954) и наблюдалось нами во время поездок в 1965 и 1971 гг. По

Й. Цвийичу (Cvijic, 1925, 1960), доломит не дает типичного холокарста, который образуется только в очень мощных толщах чистых известняков.

Во время поездки 1971 г. по карстовым районам Словении в сопровождении П. Хабица (Институт исследования карста в Постойне) я специально обращал внимание на различия в рельефе и ландшафте участков, сложенных известняками и доломитами. В доломитах формы рельефа мягче, карст развит слабее и более разработаны эрозионные формы. С доломитовых массивов в ледниковую эпоху стекали воды, отлагая в нижней части склонов грубый делювий и сглаживая рельеф (объяснение П. Хабица). Сглаживанию рельефа способствовал и процесс растворения доломита с превращением твердой породы в доломитовую муку. Склоны доломитовых массивов имеют маломощную почву, травянистый покров, сильнее обезлесены и используются как пастбищные и сенокосные угодья, в то время как изобилующие воронками (втрача), каррами и выступами корродированных скал известняковые массивы в районе Постойны, Планинского, Церкнишко и Логашко польев густо облесены и не используются в сельском хозяйстве. При чередовании известняков и доломитов днища польев (Планинского, Унечко, Логашко) часто выработаны в доломитах (Guide de l'excursion... 1965). В Нотраньском Красе, там, где распространены только карбонатные породы, поселения расположены лишь на участках доломитов, а где на поверхность выходят известняки, там их нет.

В главе IV отмечалось, что карстовый процесс в известковых и известковистых доломитах приводит к образованию кавернозности со сравнительно незначи-

ми размерами полостей. Над такими полостями не могут возникнуть провалы, а в покрытом карсте затруднен процесс просасывания рыхлых образований, перекрывающих карбонатные толщи, так как небольшие каверны будут быстро забиваться вмытыми продуктами и вымывание прекратится.

Все литологические типы карста, выделенные в СССР, распространены и на зарубежных территориях. Различное сочетание с ними морфолого-генетических типов во многом повторяет те же основные типы, которые наблюдаются на территории СССР и которые там также широко распространены. Для зарубежных территорий сохраняет свое значение и группировка типов карста в два класса — равнинного и горного карста, так же как и выделение подклассов карста на основе высотной зональности.

Следует отметить лишь, что некоторые морфолого-генетические типы, например морской карст, карст коралловых рифов, карст приморских равнин, как во Флориде и Юкатане, в горах вообще не встречаются и могут быть только равнинными.

Если само существование карста определяется наличием растворимых горных пород, состав, характер и распределение которых связаны с геологической историей территории, то существование различных морфолого-генетических типов карста зависит не только от геологической истории, но и от физико-географической обстановки развития карста, обусловленной разными географическими закономерностями — широтной и высотной зональностью, долготно-климатической и долготно-ландшафтной дифференциацией (секторностью). Типы карста существенно зависят также и от закономерно расположенных на земном шаре геоструктур.

Проблема районирования карста

Районирование карста всего земного шара выполнено Г. П. Козаком (Kosack, 1952; Гвоздецкий, 1954, 1954). Козак выделил семь областей по зональному принципу. Его области занимают разорванные пространства, т. е. это не регионы как индивидуальные единицы. Составленная Г. П. Козаком схема карстовых областей земного шара, строго говоря, является не схемой районирования, а сильно обобщенной схемой распространения типов карста. Интересно, что выделение областей на этой схеме заведомо предусматривает не сплошное распространение карста в оконтуренных пространствах.

Специфика районирования карста в отличие от геоморфологического, почвенного, ландшафтного и других видов природного районирования, где приходится иметь дело со сплошными ареалами районированных явлений, заключается в том, что карстовые явления рассредоточены на площадях прерывисто, в соответствии с прерывистым распространением на земной поверхности карстующихся горных пород, выходы которых разобщены нерастворимыми и некарстующимися породами. Это наглядно видно на картосхеме карстовых районов Явы (рис. 31), заимствованной из работы Д. Балажа (Balázs, 1968). На картосхеме отчетливо показаны черным цветом крупные площади и мелкие участки распространения карста. Произведено районирование карста: выделено 28 районов, обозначенных порядковыми номерами. Таким образом, каждый из районов индивидуален и больше не повторяется. В качестве районов выявлены либо сплошные, либо не сплошные площади распространения карста, или под одним номером объединено несколько разобщенных участков (в соответствии с правилами природного районирования такие группы карстовых участков целесообразно было бы оконтурить, т. е. объединить общим контуром). Дальнейшее объединение



Рис. 31. Карстовые районы Явы, по Д. Балажу

1 — четвертичные осадки, 2 — третичные осадки, 3 — четвертичные и третичные вулканические отложения, 4а — действующие и 4б — бывшие действующие вулканические конусы, 5 — до третичные отложения, 6 — площади развития карста

карстовых районов на схеме не произведено. Автор сгруппировал их только в текстовой легенде, где они относятся либо к северной, либо к южной третичным зонам и разделены центральным вулканическим поясом Явы. Эти разделенные между собой зоны можно было бы объединить и дальше в какую-то более крупную область, охватывающую все острова Индонезии с тропическим карстом, может быть, и часть Новой Гвинеи.

По какому же принципу нужно объединять разрозненные карстовые районы? По зонально-климатическому, как это в основном сделано Г. П. Козаком, или идти другим путем? Соображения по этому поводу нами высказаны в специальной статье (Гвоздецкий, 1962). На основании их мы пришли к выводу о том, что «основа для районирования карста должна быть геологической (литолого-тектонической), и уже на нее как на основной фон, определяющий наличие растворимых, карстующихся пород, должны накладываться физико-географические условия зонального и провинциального¹ порядка (в горах, в частности, связанные с высотной географической зональностью), которые обуславливают те или иные формы... карста, его характер, тип» (там же, стр. 35). Главнейшие из наших соображений заключаются в том, что «само существование карста определяется литологическими условиями (наличием растворимых пород) и тесно связано с тектонической структурой» (там же, стр. 34) и что закономерности распространения карста определены геологической историей территории, сформировавшимися в ходе ее особенностями горных пород, их фаціальным распределением и тектоникой.

Основываясь на изложенном принципе, мы выполнили районирование карста Большого Кавказа (Гвоздецкий, 1952, 1954). Наша схема была воспроизведена в трудах других авторов (Родионов, 1963; Соколов, 1962) и легла в основу дальнейших исследований (Костин, 1966; Еременко, 1971). Мы воспроизводим ее здесь с до-

¹ Сейчас мы предпочитаем говорить не о провинциальности, а о долготно-ландшафтной дифференциации, или секторности, поскольку под провинциями в практике физико-географического районирования СССР стали пониматься более ограниченные в пространстве территориальные единицы, обособление которых в основном связано с азональными факторами дифференциации географической среды.

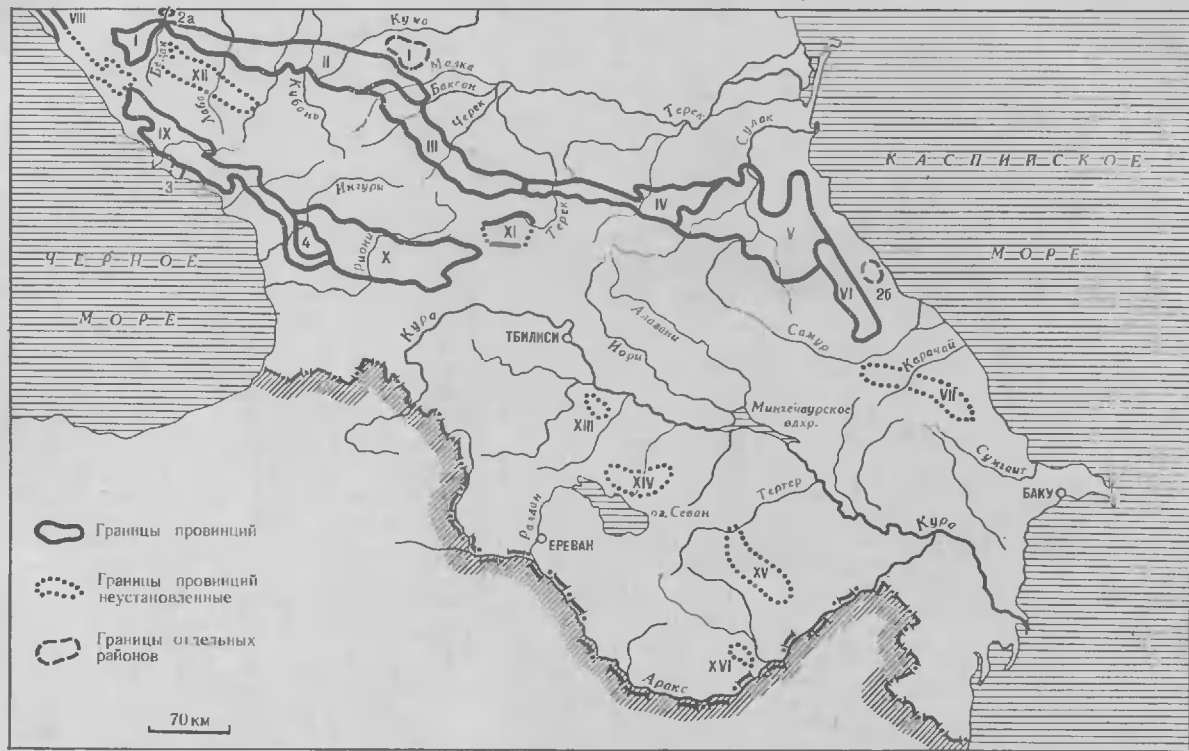
полнениями, показывая карстовые регионы не только Большого Кавказа, но и Малого Кавказа (рис. 32). Более схематично дано нами районирование Средней Азии (Гвоздецкий, 1957) и сделана наметка районирования карста Русской равнины (Гвоздецкий, 1954, 1962). Во всех этих опытах районирования карста крупных частей территории СССР нами использовалась следующая система таксономических единиц: карстовые страны — провинция — область — район.

В последнем опыте районирования карста Русской равнины (рис. 33), выполненном совместно с А. Г. Чижишевым (Гвоздецкий и Чижишев, 1966)¹, в соответствии с установившейся практикой физико-географического районирования (Физико-географическое районирование СССР, 1968, стр. 9) мы помещали местами в систему таксономических единиц область и провинцию.

Русскую равнину, соответствующую одноименной платформе, мы приняли, как и в предыдущих опытах районирования, за высшую территориальную единицу — карстовую страну. Анализ ее особенностей показал, что отдельные крупные ее части «отличаются друг от друга по характеру морфоструктуры (прямые, обращенные) и тектонических движений, а также по литологическим и физико-географическим особенностям» (Гвоздецкий и Чижишев, 1966, стр. 17) и что их необходимо разграничить на следующей ступени деления. Их мы и выделили в качестве карстовых областей, которые «объединяют в себе ряд разобщенных территориальных единиц, образованных участками поверхностного или приповерхностного залегания карстующихся пород, и никогда не бывают целиком заняты карстующимися отложениями, в то время как следующие, более низкие в таксономическом отношении единицы могут полностью соответствовать площади распространения карстующихся пород или представлять собой закономерное, связанное со структурами второго и третьего порядков сочетание участков их распространения» (там же, стр. 17—18).

Третьей ступенью районирования является провинция. Провинции таксономически подчинены областям.

¹ В этой статье рассмотрены и схемы районирования Русской равнины, предложенные в разное время другими авторами — М. А. Зубащенко, Г. А. Максимовичем, Н. В. Родионовым, И. В. Поновым.



Они выделяются по общности крупных структурных единиц, таких, как северо-западное крыло Московской синеклизы, южное ее крыло и т. п. Такие же провинции нами выделялись и на прежних схемах. Области, следовательно, выделены на Русской равнине не взамен, а в дополнение к ним как единицы, их объединяющие. Части провинций, обособление которых связано с внутрискрутурными различиями или со структурами второго порядка, мы предложили называть округами. Они соответствуют выделявшимся нами на прежних схемах областям. Округа могут быть подразделены на районы, но на нашей схеме они не выделены из-за мелкого масштаба.

Таксономическая система районирования приобрела, таким образом, следующий вид: карстовые страны — область — провинция — округ — район. В соответствии с этой системой для Кавказа нужно произвести несколько иную операцию. Здесь «карстовая провинция мегантиклинория Большого Кавказа» (Гвоздецкий, 1962, стр. 38) должна рассматриваться теперь как карстовая область (другая область выделяется в Малом Кавказе), а входящие в нее области соответственно изложенным выше принципам следует переименовать в провинции. В области Большого Кавказа выделяются 12 провинций — с I по XII, а в области Малого Кавказа — 4, с XIII по XVI (рис. 32).

Ряд опытов районирования СССР принадлежит Г. А. Максимовичу (1958 а, 1962 а, б). В своем райони-

Рис. 32. Районирование карста Кавказа, по Н. А. Гвоздецкому

I — массив Фишт-Оштен-Лагонаки и плато Черногогорье, II — западная часть полосы куэст, III — восточная часть полосы куэст, IV — провинция переходной «куэстово-складчатой» полосы в Андийского хребта, V — провинция известнякового внутреннего Дагестана и окаймляющих его с северо-востока хребтов, VI — известняково-карстовая полоса юго-восточного Дагестана, VII — пещерная провинция Шах-Дага и его отрогов, VIII — северо-западная провинция Черноморского побережья Кавказа, IX — провинция Сочи́нского гидрогеологического бассейна в Абхазии, X — известняково-карстовая провинция западной Грузии, XI — известняково-мергельная провинция карста на Водораздельном хребте и его отрогах, XII — провинция северного склона Западного Кавказа с карстом в известняках палеозоя и триаса, XIII — Северо-Азербайджанская провинция, XIV — Дашкесанская провинция, XV — Туттунчай-Шушпнская провинция, XVI — Зангелано-Корягинская провинция. Карстовые районы: I — лакколитов Пятигорья, 2а, б — Майкопский и Дербентский участки карста в песчаниках и известняках сармата, 3, 4 — конгломератовые районы террасы р. Белой (Хипсты) в Центральной Мегрелии.

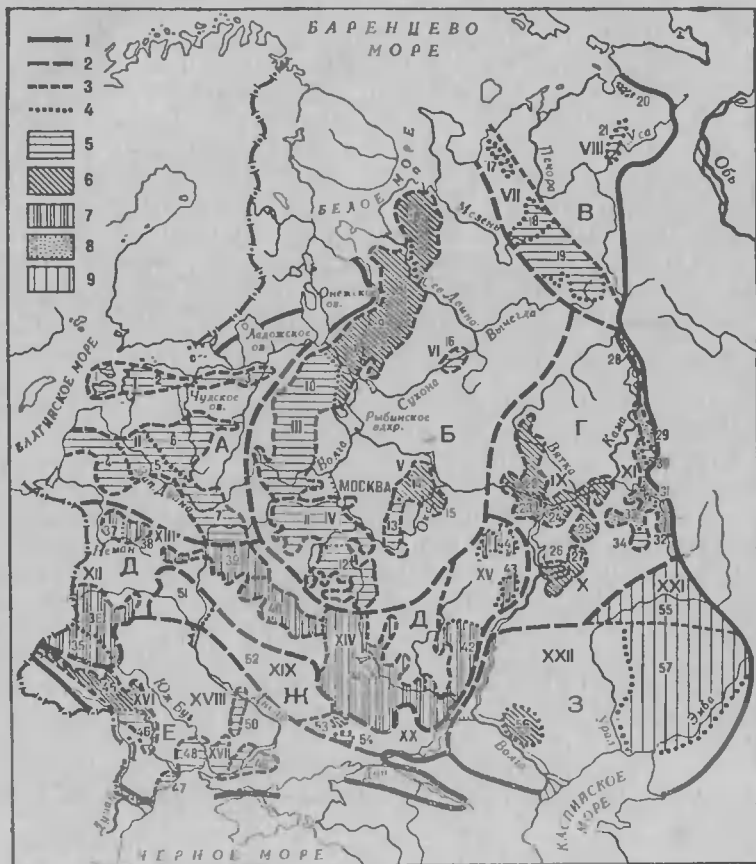


Рис. 33. Схема райони́рования карста Русской равнины, по Н. А. Гвоздецкому и А. Г. Чикишеву.

1 — граница карстовой страны, 2 — границы карстовых областей, 3 — границы карстовых провинций, 4 — границы карстовых округов, 5 — известняки и доломиты, 6 — карбонатно-сульфатные породы, 7 — мел и мело-мергельные породы, 8 — гипсы и ангидриты, 9 — соль

А. Белорусско-Прибалтийская карстовая область. I — провинция южного склона Балтийского щита, округа: 1 — Хума-Саремский, 2 — Северо-Эстонский, 3 — Луга-Волховский. II — провинция Латвийской седловины и Белорусской антеклизы, округа: 4 — Литовско-Латвийский, 5 — Западно-Двинский, 6 — Псковский, 7 — Смоленский. Б. Московско-Двинская карстовая область. III — провинция западного и северо-западного крыла Московской синеклизы, округа: 8 — Двинско-Мезеньский, 9 — Онего-Двинский, 10 — Валдайский. IV — провинция южного крыла Московской синеклизы, округа: 11 — Подмоскво-Окский, 12 — Среднерусский. V — провинция юго-восточного крыла Московской синеклизы, округа: 13 — Окско-Цнинский, 14 — Клязьминский, 15 — Нижнеокский. VI — провинция осевой части Московской синеклизы округа: 16 — Сухонский. В. Тимано-

ровании он основывается исключительно на геологических данных. Применяемая им таксономическая система от страны до района включительно такая же, как в наших предыдущих работах (карстовые страна — провинция — область — район). Дополнительно в качестве более мелких единиц Г. А. Максимович предлагает выделять карстовые участки и карстовые поля, указывая еще на возможность разделения полей «на карстовые пьезада или отдельные пятна (группы) сближенных карстовых форм» (Максимович, 1962 б, стр. 48).

Что касается самых мелких таксономических единиц, выделение которых предлагает Г. А. Максимович, то, конечно, могут быть такие случаи, когда при детальных исследованиях появится необходимость индивидуально-го рассмотрения небольших карстовых участков. Но чаще всего, как и при физико-географическом районировании, контуры отдельных районов целесообразнее заполнять типологическими единицами. В низших территориальных единицах индивидуальные особенности всегда отступают на задний план. Например, в южной

Печорская карстовая область. VII — провинция Тиманского кряжа, округа: 17 — Северо-Тиманский, 18 — Среднетиманский, 19 — Южно-Тиманский. VIII — провинция Печорской синеклизы, округа: 20 — Адзьво-Кортанский, 21 — Косью-Усинский. *Г. Средневожско-Камская карстовая область.* IX — провинция Волго-Уральского (Татарского) свода, округа: 22 — Вятско-Волжский, 23 — Сурско-Волжский, 24 — Нижнекамский, 25 — Зай-Камский. X — провинция Жигулевско-Пугачевского свода, округа: 26 — Жигулевский, 27 — Соко-Самарский. XI — провинция Краснокамско-Полазинского вала, Башкирского и Шпаковско-Ромашкинского сводов, округа: 28 — Соликамский, 29 — Пермско-Кунгурский, 30 — Уфимского плато, 31 — Нижне-уфимский, 32 — Толбазинский, 33 — Демский, 34 — Демско-Уршакский. *Д. Полесско-Приволжская карстовая область.* XII — провинция Припятского прогиба, округа: 35 — Днестровско-Припятский, 36 — Южно-Полесский. XIII — провинция Белорусской антеклизы, округа: 37 — Немацкий, 38 — Вильнюсский. XIV — провинция Воронежской антеклизы, округа: 39 — Приднепровский, 40 — Брянский, 41 — Донецко-Донской. XV — провинция Ульяновско-Саратовского прогиба, округа: 42 — Медведицкий, 43 — Вольский, 44 — Верхнесурский. *Е. Молдавско-Украинская карстовая область.* XVI — провинция юго-западной окраины Русской платформы и внешней зоны Русской равнины, округа: 45 — Подольский, 46 — Молдавский. XVII — провинция Причерноморской впадины, округа: 47 — Нижнеднепровский, 48 — Нижнебугский, 49 — Нижнеднепровский. XVIII — провинция Украинского щита, округа: 50 — Кременчугско-Криворожский. *Ж. Украинско-Донская карстовая область.* XIX — провинция Днепровско-Донецкой впадины, округа: 51 — Мозырский, 52 — Черниговско-Полтавский. XX — провинция Донецкого бассейна, округа: 53 — Северо-Донбасский, 54 — Южно-Донбасский. *З. Нижневожско-Уральская карстовая область.* XXI — провинция Предуральского периклинального прогиба, округа: 55 — Илецкий. XXII — провинция Прикаспийской синеклизы, округа: 56 — Прибаскупчакский, 57 — Индерско-Эмбенский.

части Минераловодского района Северного Кавказа много ложин с закарстованными днищами, подобных закартированным и изображенным нами (Гвоздецкий, 1965, рис. 3 и 4). При детальном исследовании их целесообразнее закартировать как типологические единицы (все они тождественны по генезису и сходны по морфологии), нежели рассматривать каждый участок такой ложины как самостоятельный, индивидуальный микро-район (участок или поле, по Г. А. Максимовичу). При необходимости детального районирования в соответствии с таксономической системой физико-географического районирования можно предложить такие единицы, как подрайоны и микрорайоны.

В СССР выполнено довольно много опытов районирования карста крупных и сравнительно небольших частей его территории. Можно указать работы по районированию карста Украины и Молдавии (Иванов, 1971), Подолии и Буковины (Иванов, 1956; Чикишев, 1969), Среднего Поволжья (Ступишин, 1956, 1967), Пермской области (Горбунова, 1956; Максимович и Горбунова, 1958), Башкирии (Лушников, 1956; Кудряшов, 1961), Урала в его естественных границах (Максимович, 1958; Максимович, Горбунова, 1965; Чикишев, 1964, 1967, 1968), Кавказа (Еременко, 1971; Костин, 1966; Лилиенберг, 1959; Маруашвили, 1963), Алтая (Крюков, 1963), Приангарья (Вологодский, 1959, 1965), Сибири в целом (Пармузин, 1964). Об опытах инженерно-геологического районирования карста говорится в заключение главы XII.

Географическое распространение карстовых явлений

Нами выполнено три глобальных обзора распространения карстовых явлений (Гвоздецкий, 1954, 1967 б, 1969). Все они снабжены обширными списками литературы. При этом мы использовали многочисленные литературные источники по разным районам, а также обзоры других авторов, глобальные (Kosack, 1952) и по отдельным материкам (Максимович, 1962 а, б, 1964).

В настоящей главе мы попытаемся дать очень краткий обзор распространения карста в СССР и зарубежных странах, отсылая читателей, интересующихся деталями и литературой, к предыдущим обзорам и указывая лишь некоторые из новых литературных источников, которые не были использованы при составлении предыдущих обзоров.

СССР

Карстовые явления на территории СССР распространены от Прибалтики и прикарпатских областей до Дальнего Востока и от побережья Северного Ледовитого океана до южных рубежей нашей страны.

Материал по карсту Русской равнины обобщен в работах А. С. Баркова, Н. А. Гвоздецкого (1954), И. В. Попова (1965), Н. В. Родионова (1963), А. Г. Чикишева (Типы карста... 1965), И. С. Щукина (1963, 1964), А. Ф. Якушовой и др. Здесь широко распространены карбонатные и гипсоносные толщи большого возрастного диапазона — от докембрия (в Украинском кристаллическом массиве) до неогена. Шире всего распространены палеозойские карстующиеся толщи, затем мезозойские и неогеновые. В западной половине Русской равнины преобладает карбонатный карст (в известняках, доломитах и мелу), а в восточной — гипсовый

Районы карбонатного карста встречаются, однако, и на востоке, а на юго-западе, в Приднестровской Подолнии, интенсивно развит гипсовый карст. Меловой карст распространен преимущественно в южной половине Русской равнины, соляной — более всего развит на юго-востоке (в Прикаспийской низменности и соседних с ней районах Предуралья), а также в Донбассе и в Закарпатье (Дзенс-Литовский, 1966; Короткевич, 1970).

Физико-географические и, в частности, климатические условия развития карста в пределах Русской равнины изменяются в соответствии с закономерностью широтной зональности. При этом вследствие уменьшения количества осадков и увеличения испаряемости с северо-запада на юго-восток к юго-востоку резко снижается увлажненность и возрастает засушливость. Однако типы карста связаны здесь не столько с климатическими различиями и особенностями, сколько с историей развития территории. Преимущественное развитие получил покрытый карст, отчего, между прочим, Г. А. Максимович (1963) и назвал этот тип карста русским. В области древнего материкового оледенения северо-запада и севера Русской равнины карстующиеся толщи оказались перекрытыми ледниковыми и флювиогляциальными наносами, а во внеледниковой области — элювиально-делювиальными плащами и осадками четвертичных морских трансгрессий (в Прикаспийской низменности). Но есть также в разных районах участки голого карста (с небольшими карровыми полями), участки задренованного карста, широко распространен древний погребенный, или ископаемый, карст.

Из карстовых форм наиболее характерны для Русской равнины воронки просасывания и провалы (с оседанием преимущественно покровных отложений, но иногда, особенно в гипсах, и карстующихся пород), небольшие котловины, карстовые овраги и слепые балки, в отдельных районах встречаются пещеры. Во многих местах распространены карстовые юзера, исчезающие под землю реки и ручьи («Вопросы изучения карста Русской равнины», 1966).

Крупнейшая карстовая провинция Русской равнины образовалась на северо-западном крыле Московской синеклизы. К ней относится обширный карстовый округ Онего-Двинского междуречья, продолжающийся севернее в Двинско-Мезеньский округ с сильно закарстован-

ным Беломорско-Кулойским плато (Торсуев, 1967). Южному крылу Московской синеклизы, ее юго-восточному крылу и Окско-Цнинскому валу соответствуют карстовые провинции и округа центра Русской равнины. На западе выделяются провинции южного склона Балтийского щита (Газизов, 1965; Хейнсалу, 1970), Латвийской седловины и Белорусской антеклизы, южнее которых от западных рубежей страны на восток до Волги простираются провинции и округа с меловым карстом (Красненков, 1968), составляющие Полесско-Приволжскую карстовую область. К югу от нее, в южной полосе Русской равнины, располагаются провинции Причерноморской впадины, Донбасса и юго-западной окраины Русской равнины, где в тортомских гипсах Приднестровской Подолии находятся крупнейшие в СССР пещерные лабиринты, достигающие нескольких десятков километров суммарной длины («Вопросы изучения карста Русской равнины», 1966; Дублянский, 1969; Дублянский, Смольников, 1969; Радзиевский, 1967; Чикишев, 1969).

Поднятие Чернова в Большеземельской тундре с карстом в карбонатных палеозойских породах (Черных, Юшкин, 1967), провинции Тиманского кряжа с карбонатным карстом (Тимофеев, 1968), Волго-Уральского (Татарского) и Жигулевско-Пугачевского сводов с карстом в карбонатно-сульфатных породах пермского возраста (Лаптева, 1967; Мусин, 1966; Ступишин, 1967) и Прикаспийской синеклизы, где карст развивается в гипсах и каменной соли нижней перми, выведенных на поверхность в солянокупольных структурах, образуют основные площади распространения карста в восточной части Русской равнины. К восточной окраине Русской равнины относится и Предуралье, где выделяется карстовая провинция Краснокамско-Полазнинского вала, Башкирского и Шпаковско-Ромашкинского сводов. Здесь особенно широко развит гипсовый карст в породах пермского возраста (Максимович и Горбунова, 1958; Кротова, 1971; Очерки по физич. геогр. г. Уфы, 1970), местами распространен и карбонатный карст. Находящаяся в Предуралье известная Кунгурская ледяная пещера имеет суммарную длину проходов и гротов более 5 км.

Урал характеризуется широким распространением карста. Он развит как в области Предуральского краевого прогиба, так и в Уральской складчатой горной

стране. Материал по карсту Урала обобщен в работах Г. А. Максимовича, Г. А. Максимовича и К. А. Горбуновой (1958; Типы карста... 1965), Н. В. Родионова (1963), А. Г. Чикишева (1967, 1968).

На западе Уральской карстовой страны, в Предуральском краевом прогибе, широко распространен карст в гипсах (*Горбунова, 1965*) и каменной соли (пермского возраста), преимущественно покрытый или задернованный. В районе известняково-гипсового карста, разделяющем Печорскую и Уфимско-Соликамскую провинции, в крутосклонном увале на правом берегу р. Колвы расположена известная Дивья пещера 3240 м суммарной длины (*Чикишев, 1966*). В Уральской складчатой области и Полярном Предуралье распространен преимущественно покрытый и задернованный карст в палеозойских известняках и доломитах (*Тимофеев, 1968*). На севере карст встречается в области вечной мерзлоты. Предполагается, что крупные поверхностные формы карста возникли здесь до того, как образовалась вечная мерзлота (*Родионов, 1963*).

Из карстовых форм в Уральской стране широко распространены воронки и цепи слившихся воронок, котловины, карстовые лога, суходолы и сухие русла, слепые долины, закарстованные трещины, карстовые колодцы, поноры, глубинные карстовые полости, пещеры (*Гуслицер и Канивец, 1965; Максимович, Рубель, 1966*). В южной области Западно-Уральской карстовой провинции находится известная Капова пещера, имеющая 2000 м протяженности доступных ныне ходов (*Богданович, Кудряшов, 1966; Кудряшов, 1969*). В ней найдены рисунки доисторического человека.

Весьма обычны здесь карстовые озера, исчезающие реки и ручьи, карстовые источники. Местами встречаются небольшие карровые поля, но в целом голый карст не характерен для Урала. Типична приуроченность карста к зонам интенсивной трещиноватости, которые связаны с разломами и складчатостью. Часто карст развивается вдоль контактов растворимых пород с нерастворимыми, а также на прорезающих карстующиеся породы участках речных долин. Широко развит погребенный карст. На Среднем Урале — в Челябинской области, в районе г. Верхнего Уфалея и др. описаны формы древнего (мезозойского) погребенного тропического останцового карста в известняках и мраморах.

На Карпатах карбонатный карст развит главным образом в пределах Северной Утесовой зоны горных Карпат в рифогенных известняках и известняковых брекчиях титона. Из-за сильной расчлененности рельефа и небольших площадей выходов карстующихся пород типичные поверхностные карстовые формы здесь отсутствуют, но пещеры имеются (Дублянский, 1967; Дублянский, Шутов, 1968). Соляной карст интенсивно развит в Закарпатье на Солотвинском соляном куполе, расположенном в Верхнегиссенской впадине — части предгорного прогиба горной дуги Карпат (Дзэнс-Литовский, 1966; Короткевич, 1964, 1970).

В Крыму карстовые явления распространены в горной и степной частях. Горный Крым, относящийся к области альпийской складчатости и представляющий собой обособленный Крымский антиклинорий, считается классическим районом развития карста. Карст Горного Крыма охарактеризован в работах А. А. Крубера (1915), И. К. Зайцева (1940), Н. А. Гвоздецкого (1954), И. Г. Глухова, Б. Н. Иванова, Н. В. Леончевой, Н. В. Родионова (1963), Д. С. Соколова (1962), М. В. Чуринова и в ряде новейших публикаций (Альбов, 1968; Бачишский, Дублянский, 1968; Головцин, Смольников, Дублянский, Иванов, 1966; Дублянский, 1966; Дублянский, Гончаров, 1970; Дублянский, Зсленин, 1965; Дублянский, Шутов, 1967; Дублянский, 1970; Зенгина, Мслешин, 1967; Иванов и Ильина — Типы карста... 1965). Развитый преимущественно в верхнеюрских известняках карст Горного Крыма служит ярким примером голого карста средиземноморского типа (рис. 34). Часто известняки совершенно лишены почвенного покрова и образуют типичные карровые поля. На закарстованной поверхности масса разнообразных и разновозрастных замкнутых форм: котловин (в некоторых случаях типа польев), западин, воронок с колодцами и трещинными дюнорами на дне. На наиболее возвышенных участках Яйлы котловины возникли в ледниковую эпоху в результате растворения известняков талыми водами снежных полей и пятен. И сейчас, по нашим данным (Гвоздецкий, 1954) и данным В. Н. Дублянского, талые воды являются важнейшим агентом карстообразования. На Яйле многочисленны карстовые шахты, достигающие 261 м глубины (шахта Молодежная на Караби-яйле). Система Красной пещеры на Долгоруковской яйле, состоя-

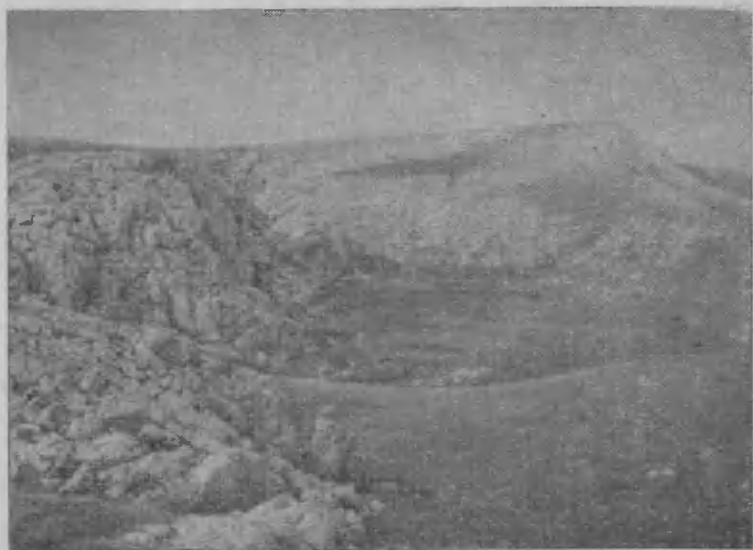


Рис. 34. Участок закарстованной поверхности крымской Яйлы.

Фото Н. А. Гвоздецкого

щая из шести разновозрастных этажей (Бачинский, Дублянский, Лысенко, 1967), исследована на протяжении 13,1 км. В северных куэстовых предгорьях карстовые явления получили некоторое развитие в известняках палеогена и неогена.

Карст Степного Крыма охарактеризован в работах Т. И. Устиновой, С. В. Альбова и В. П. Мелешина (1969, 1971). Подземные и поверхностные формы карста образовались здесь преимущественно в слабо дислоцированных карбонатных породах неогена.

Исключительным разнообразием условий развития, типов и форм отличается карст Кавказа. Большой Кавказ напоминает Альпы по расположению карстовых провинций, которые приурочены главным образом к полосе известняковых передовых хребтов и плато, опоясывающей ледниковое высокогорье. В карстовой области Большого Кавказа выделяются 12 провинций (см. гл. IX). Карст северного склона, развивающийся на западе

в моноклинальных структурах, на востоке — в складчатых, охарактеризован в работах Н. А. Гвоздецкого (Типы карста... 1965; 1967 а и др.), П. А. Костина (1966; Северный Кавказ, 1969 и др.), Д. А. Лилиенберга, Н. М. Ерменко (Северный Кавказ, 1969; 1971). Он наблюдается преимущественно в валанжинских известняках, а также в верхнеюрских известняках, доломитах и гипсах, местами в палеозойских известняках, в верхнемеловых и более молодых известняковых толщах карст распространен локально, но иногда развивается довольно активно (Гаустов, 1969). Встречаются воронки разных типов, ванны, котловины, иногда типа польев, колодцы, ниши, пещеры, карры, карстовые озера, исчезающие реки и ручьи, источники. Типичен задерживаемый карст, есть участки голого и покрытого карста.

На южном склоне Большого Кавказа карст распространен от Черноморского Кавказа, где он развит в карбонатных породах флишевой формации верхнемелового возраста (Колодяжная, 1965), до Черноморско-Каспийского водораздела. Господствуют чистые известняки абхазских фаций (верхняя юра, нижний и верхний мел, отчасти палеоген), образующие складчатые структуры. Закарстованы также известняковые конгломераты неогенового и нижнечетвертичного возраста.

Карст южного склона Большого Кавказа охарактеризован в работах Н. А. Гвоздецкого, Н. И. Соколова и многочисленных грузинских географов и спелеологов: Л. И. Маруашвили, З. К. Тинтилозова, Ш. Я. Кипиани, К. Г. Мгеладзе, Г. С. Чангашвили, Т. З. Кикнадзе, Б. А. Гергедавы и др. Новые и новейшие материалы (Карст и пещеры Грузии, 1965; Пещеры Грузии, 1965, 1966; Кипиани, Тинтилозов и др., 1966; Гергедава, 1968; Кикнадзе, 1967, 1971; Маруашвили, 1967, 1971; Тинтилозов, 1965, 1970; Тинтилозов, Чангашвили, Окроджанашвили, 1965) характеризуют со значительно большей полнотой подземные формы карста — пещеры, пропасти. В верховьях р. Хосты открыта глубочайшая в СССР (около 500 м) карстовая шахта Назаровская. Анакопийская пропасть в районе Нового Афона поражает громадным объемом подземных полостей и разнообразием пачечно-капельных образований (Тинтилозов, 1968, см. рис. 35). Она оборудуется для туристского осмотра. Целесообразно было бы оборудовать, с соответствующей охраной, и замечательную абхазскую пещеру Абрскила.

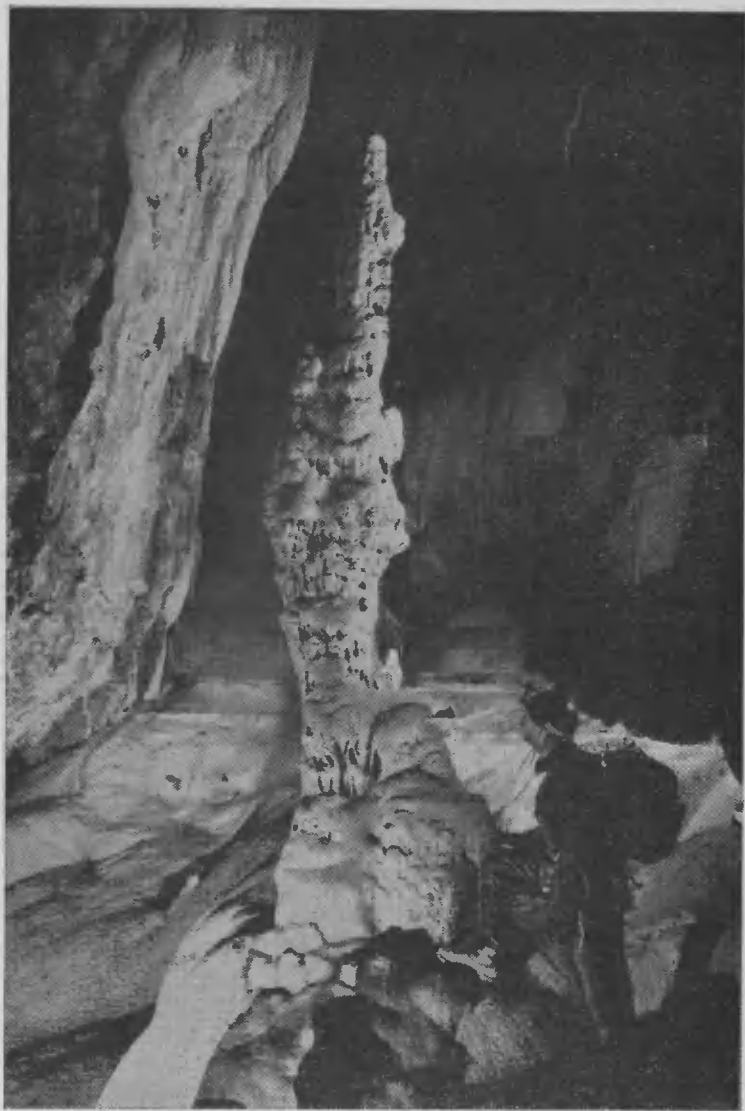


Рис. 35. Анакопийская пропасть близ Нового Афона.
Сложной формы сталагмит при входе в зал Абхазия.

Фото В. Юшина

Вообще подземные формы, в том числе сталактитовые пещеры, в западной половине южного склона Большого Кавказа выражены особенно ярко. Но характерен и поверхностный карст, представленный полным комплексом форм. Есть районы, выделяющиеся исключительной интенсивностью закарстованности. Таким, по нашим наблюдениям, является, например, Накеральское плато в системе Рачинского хребта (Гвоздецкий, 1965). У оз. Эрцо в районе Черноморско-Каспийского водораздела распространены известняковые останцы. Можно предположить, что это формы реликтового тропического карста. Характерны и гидрографические особенности: много исчезающих и подземных рек, мощных карстовых источников воклюзского типа. В районах Гантиади и Гагр есть субмаринные источники. В высокогорье как южного, так и северного склонов карстовые формы иногда развиваются на фоне древнеледниковых, в их развитии и теперь велика роль талых снеговых вод. Для высокогорья типичны колодцы и пронасти со снегом и льдом.

Карст в верхнемеловых известняках развит на склонах лакколитов Минераловодской группы Предкавказья. На Ставропольской возвышенности карстовые процессы проявляются в известняках, известковистых песчаниках и конгломератах сармата.

Карст развит в верхнеюрских и верхнемеловых (сеноманских) известняках некоторых районов Малого Кавказа и в отрогах Зангезурского хребта. Здесь выделяется несколько карстовых провинций: на северо-западе Азербайджана, на северном склоне Шахдагского хребта, на Карабахском хребте и в восточных отрогах южной части Зангезурского хребта. Обследованы в них и описаны главным образом пещеры.

Несмотря на резко континентальные условия и малое количество осадков, карстовые явления довольно широко распространены в Центральном Казахстане и Средней Азии.

В Казахской складчатой стране карст развит на отдельных участках карбонатных и гипсоносных пород (Дьячков, 1965; Карст Казахстана, 1967). Наряду с современным карстом широко распространен древний погребенный карст, имеющий существенное гидрогеологическое значение и поэтому важный для решения проблемы водоснабжения (см. гл. XIV). Он также играет большую роль в формировании бокситовых месторож-

дений. И в Тургайской столовой стране есть погребенный карст, с ним тоже связаны бокситовые месторождения. В этой области карст развит и в районах железорудных месторождений, где он может быть использован для дренирования рудных залежей (см. гл. XIII).

Важными проблемами изучения карста в пустынях Средней Азии являются: 1) отграничение от древних форм, возникших в иной географической обстановке прошлого, действительно современных проявлений карстовых процессов; 2) установление тех специфических процессов и факторов, которые позволяют развиваться карсту в нынешних пустынных условиях, при крайне малом количестве атмосферных осадков. Для решения второй проблемы нужно изучить общую картину подземного стока, местные особенности циркуляции, химизм и агрессивность подземных вод в пустынных карстовых районах, роль неравномерности (в пространстве и во времени) поверхностного стока, значение рыхлых покровных отложений, условия и возможности конденсации вод и роль конденсационных вод в карстообразовании.

Из пустынных карстовых провинций Средней Азии особенно большой интерес представляет Устюрт-Мангышлакская, где развит карбонатный и гипсовый карст. Карст приурочен в основном к неогеновым отложениям, представленным известняками, ракушечниками и мергелями, реже гипсами. Общая мощность карстующихся пород от 30 до 150 м. Распространены различные микроформы, блюдца и воронки разных типов (поверхностного выщелачивания, просасывания — там, где известняки перекрыты морскими рыхлыми отложениями, провалы), западины, котловины, пещеры (Кузнецов — Типы карста... 1965; Карст Казахстана, 1967; Потапова, 1971). Т. Е. Сумочкина и Е. Е. Немчинова описали карстовые явления в останцовых горах и возвышенностях пустыни Кызылкум, где в палеозойских известняках имеются небольшие пещеры, гроты, ниши, навесы, карстовые источники, а в сильно загипсованных и засоленных глинистых отложениях развиваются карстово-суффозионные явления. Карстовые формы и источники отмечены также в западных пустынных отрогах Памиро-Алая. В южной (субтропической) зоне среднеазиатских пустынь для развития карста существенны неравномерность сезонного распределения осадков и приурочен-

ность их максимума к периоду невысоких, но в основном положительных температур.

В горах Юго-Восточного Казахстана и Средней Азии в зоне палеозойской складчатости карст слабо развит на Джунгарском Алатау, более распространен в Северном Тянь-Шане, в особенности на хр. Каратау (Карст Казахстана, 1967). Есть он также в Западном, Внутреннем и Центральном Тянь-Шане, а также в герцинских цепях Памиро-Алая (Абдужабаров, 1965, 1968). Для опустыненных низкогорий характерен своеобразный аридный вариант голого карста (в палеозойских известняках) с каррами, разрушенными физическим выветриванием, с пещерами и нишами, многочисленными в бортах каньонов, но со слабым распространением карстовых воронок и других замкнутых поверхностных форм. Однако в среднегорных районах, получающих больше осадков и меньше тратящих воды на испарение из-за понижения температур, воронки появляются, а в высоком среднегорье ванновый карстовый рельеф иногда приобретает весьма типичное выражение, как, например, по нашим наблюдениям, в западной оконечности Зеравшанского хребта — на плато Кырктау и еще западнее, в верховьях Бульбульзарсая и Майдансая, близ перевала Тахтакарача. Местами в палеозойских известняках встречаются карстовые колодцы и шахты, а в окрестностях оз. Искандеркуль есть группы известняковых останцов, которые И. С. Шукин (1964) склонен рассматривать как реликтовые формы останцового тропического карста. В качестве таковых И. Секира (Sekuga, 1964) рассматривает известняковые скалистые останцы возле г. Ош и достигающие более 4500 м высоты известняковые вершины у перевала Талдык в Алайском хребте. Мы знакомы с описанными И. Секирой формами. Сходные известняковые останцы наблюдались нами на южном склоне Алайского хребта в районе верховья правого истока р. Кызылсу — р. Айямы и близ перевала Томурун. В северо-западной части Ферганской котловины на массивах Ак-Бель и Кызыл-Джар развит соляной карст (Дзенс-Литовский, 1966; Короткевич, 1970).

В зоне кайнозойской складчатости и в примыкающих к ней участках краевых впадин и эпигерцинской платформы с паликативно дислоцированным мезокайнозойским покровом геологические и физико-географические



Рис. 36. Одна из воронок гипсового карста в восточном замыкании Алайской долины близ пер. Тумурун. Гипсы прикрыты мореной. На заднем плане отроги Алайского хребта.

Фото Н. А. Гвоздецкого

условия развития карста весьма разнообразны. Тут распространен известняковый и гипсовый карст (от низкогорного до высокогорного) разных морфолого-генетических типов. В этой зоне можно выделить провинции Копетдага, а в Памиро-Алае — Байсунтау-Западно-Таджикскую, Северо-Памирскую и Восточно-Памирскую с рядом районов. В Байсунтау-Западно-Таджикской провинции распространен известняковый (Маматов, 1968), гипсовый и соляной карст — на куполах Ходжа-Мумин и Ходжа-Сартис (Дзенс-Литовский, 1966; Короткевич, 1970). Карлюкская пещера в интенсивно закарстованном районе хр. Кугитангтау имеет около 3 км суммарной длины. Поверхностные формы карста в виде воронок, котловин, часто с озерами, иногда котловин типа польев хорошо выражены во многих участках хр. Петра Первого, на северном склоне и у северного подножия Заалайского хребта, а также в восточном замыкании Алайской долины, у перевала Тоумурун (рис. 36). В Во-



Рис. 37. Известняковые останцы на южном краю котловины с озерами Шоркуль и Ранкуль (Восточный Памир).

Фото Н. А. Гвоздецкого

сточном Памире в ряде мест, особенно по краям котловины с озерами Шоркуль и Ранкуль, нами наблюдались известняковые останцы (рис. 37), сходные с формами тропического карста типа моготе. Есть основания считать их реликтовыми, сформировавшимися в условиях тропического климата саванн. Современные карстовые процессы в Восточном Памире приводят к формированию желобковых карров и небольших пещерных углублений.

В Сибири и на Дальнем Востоке карст распространен не повсеместно. Он отсутствует на Западно-Сибирской равнине, но довольно широко распространен в горах Южной Сибири, местами в Средней и Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. В свое время (1954 г.) материал по карсту Сибири и Дальнего Востока был обобщен в статьях Ю. П. Пармузина, но к его обзору могут быть сделаны большие дополнения по работам Н. М. Багаткова, П. М. Большакова, Е. Т. Боброва, Г. П. Вологодского, И. Ю. Долгушина, С. С. Коржуе-

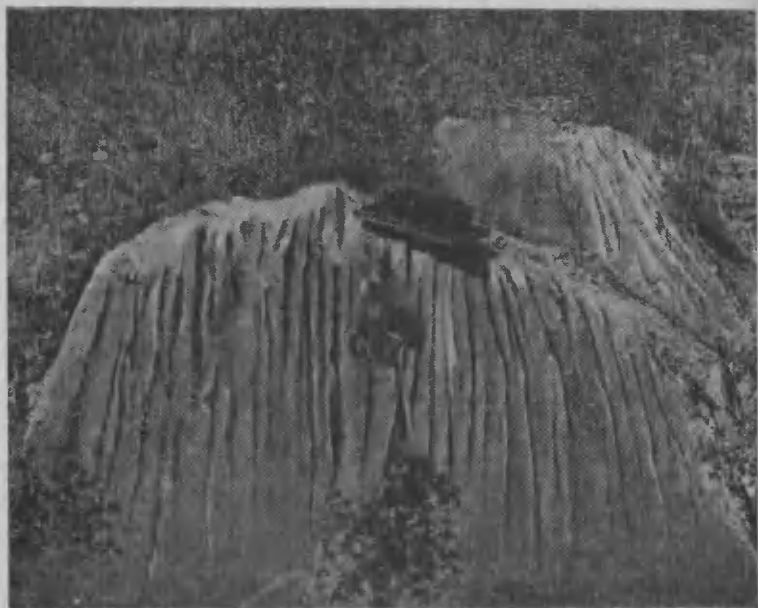


Рис. 38. Желобковые карры на известняковых скалах Белого Борма в Горном Алтае.

Фото Н. А. Гвоздецкого

ва, К. В. Радугина, Н. И. Соколова, Е. М. Щербаковой и некоторым новейшим, которые будут указаны.

В Алтае-Саянской складчатой области широко развит древний и современный карбонатный карст в породах палеозоя и протерозоя. В Горном Алтае описаны пещеры, карстовые мосты и арки, карстовые колодцы и естественные шахты, воронки, карстовые овраги с порогами, карры (рис. 38), карстовые источники, исчезающие под землю ручьи и реки (Гвоздецкий, 1972; Крюков, 1963; Маринин, 1966а, б.; Тупотилова, 1965, 1968; Черняева, 1967; Карст Казахстана, 1967). Карст Салаира и Кузнецкого Алатау исследовали П. М. Большаков, К. В. Радугин и И. В. Зыков. Е. М. Щербакова указала на роль карстовых, а по существу карстово-суффозионных процессов в образовании озер Минусинской котловины. Новые публикации появились по карсту Восточного Саяна (Беляк, 1967, 1969). В южной ча-

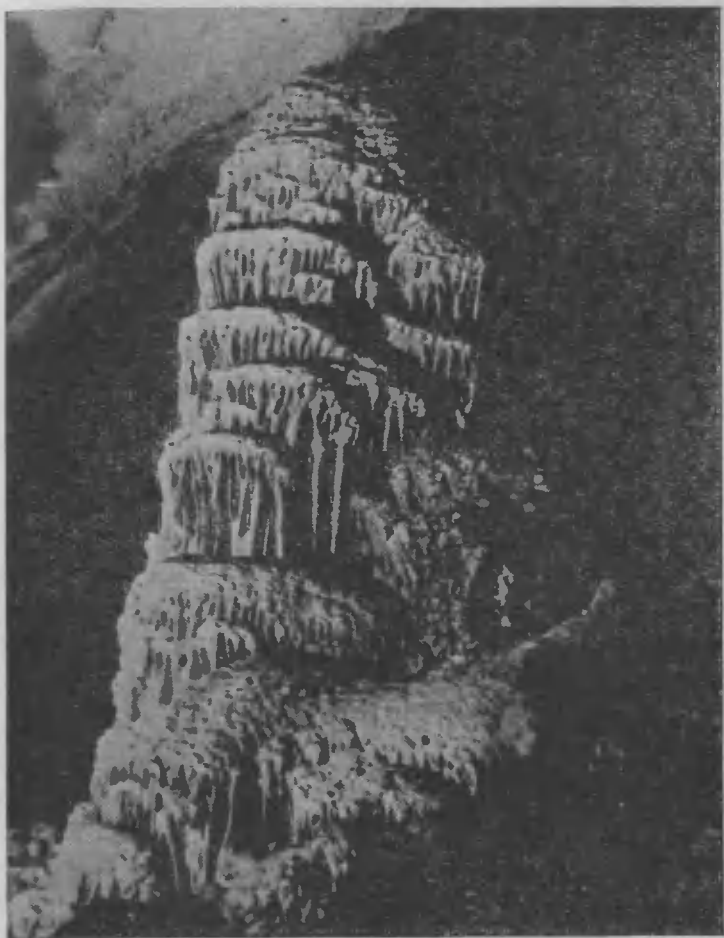


Рис. 39. Сталагмит Индийская пагода в Торгашинской пещере

Фото В. И. Беяка

сти Красноярского края, в частности на Торгашинском хребте, найдены карстовые полости с обильными натечно-капельными образованиями (рис. 39) и даже с пещерным жемчугом. В бассейне Бирюсы исследована пещера глубиной 274 м и около 2 км длиной, названная

Кубинской. На междуречье Урика и Савины обнаружены карстовые озера и провальные воронки в мраморах архея. Описаны пещеры на западном берегу и островах оз. Байкал (Беляк, Хороших, 1970).

В дополнение к работам Н. И. Соколова, Н. А. Гвоздецкого и Ю. П. Пармузина по карсту Приангарья опубликованы данные обстоятельных исследований Г. П. Вологодского (1965, 1968). Карст Приангарья развит в кембрийских доломитах и известняках, а также в глинах — на более северных участках. В гипсоносных породах верхоленской свиты кембрия развит карст и на р. Лене. В районе Олекминска и восточнее, на второй надпойменной террасе Лены, много воронок, котловин и карстовых озер. Здесь распространен покрытый карст (с покровом аллювия) и погребенный, древний. В Среднем Приленье широко развит известняковый карст с воронками, пещерами, нишами, навесами. На Алдано-Тимптонском водоразделе и соседних районах Лено-Алданского плато закарстованы кембрийские карбонатные породы. По всей южной Якутии интенсивно развит карбонатный карст, на Кемпендяйских соляных структурах в бассейне Вилюя — соляной карст (Коржуев — Типы карста... 1965; Русанов и др., 1967). На юго-западе Сибирской платформы, в области Енисейского кряжа и прилегающих к нему районов распространен древний бокситоносный карст. Карст в карбонатных, гипсоносных и соленосных палеозойских породах описан в северной части Средней Сибири, в том числе в самых отдаленных и суровых северных районах в области сплошной вечной мерзлоты — у подножия плато Путорана и в долине Рыбной, в бассейне Хатанги, в окрестностях Нордвика.

На Дальнем Востоке карстовые явления исследованы в бассейне р. Зеи, на Малом Хингане, в Спасском районе Уссурийского края (Зайцев, 1940). В. А. Шматковым обнаружен карст в карбонатных породах Шантарских островов (о-ва Б. Шантар и Феклистов).

В Сибири и на Дальнем Востоке карст широко распространен в области вечной мерзлоты, часто в сочетании с термокарстом. В сезонно оттаивающем слое развивается своеобразный склоновый карст. С. С. Коржуевым (1967) различаются поверхностный надмерзлотный и подземный межмерзлотный и подмерзлотный карст. По Ю. П. Пармузину, в условиях вечной мерзлоты карст

развивается круглогодично под мерзлотным слоем и на ограниченных изолированных участках в местах выходов карстовых источников.

Зарубежные страны

Западная Европа. На северо-западе Европы (Corbel, 1957; Гвоздецкий, 1970) карст распространен от севера Скандинавии и Шпицбергена до Британских о-вов и Бельгии. На Шпицбергене карст развит в условиях вечной мерзлоты. В каледонидах Скандинавии есть трубообразные колодцы, карры, исчезающие водотоки (рис. 40) и пещерные реки в известняках. Ж. Корбель отмечает, что карстовые процессы особенно интенсивны во влажной и снежной приатлантической области Скандинавии. Карст развит в ордовикских и силурийских известняках, покрывающих южный склон Балтийского кристаллического щита, — на о-вах Эланде и Готланде (Tell, 1966). На Британских островах и в Бельгии карст распространен главным образом в палеозойских породах каледонских и герцинских структур, но отчасти и в породах мезо-кайнозойского платформенного чехла (на юге Англии и в Бельгии). В разных районах Великобритании и Ирландии распространен голый, задернованный и покрытый известняковый карст с воронками, котловинами, сухими долинами, пещерами, карстовыми озерами. Особенно типично развит карст на Пеннинском хребте и в Ирландии (Sweeting, Groom and others, 1965; Sweeting, 1966; Coleman, 1965; Skřivánek, 1968).

В Центральной Европе со средневысотными герцинскими массивами и куэстовыми грядами карст развит в палеозойских породах герцинских структур и в мезозойских известняковых толщах, которые были отложены во впадинах раздробленной герцинской основы, а впоследствии приподняты движениями соседних герцинских массивов и альпийских дуг. Сюда входят район Краковской Юры, многие карстовые районы Чехословакии: Моравский Карст с известными сталактитовыми пещерами, подземными реками, провалом-пропастью Мацоха, понорами, суходолами (Гвоздецкий, 1970; Absolon, 1970; Problems of the speleol. research, 1965; Ryšavý, 1965; Piše, Vlček; Vodička, 1967), районы Северо-Моравской карстовой области с разнообразными сталактитовыми



Рис. 40. Река Спанс исчезает под землю в известняках кембро-силура. Норвегия.

Фото Н. А. Гвоздецкого

пещерами (Гвоздецкий, 1970), Чешский Карст и др. Западнее располагаются карстовые районы: Гарц, Франконские горы, Швабская Юра, в которых известняки с воронками, сухими логами, провалами, пещерами преимущественно задернованы. В Франконских горах, на юге Гарца и в некоторых других районах распространен также гипсовый и соляной карст. Интересен ископаемый и реликтовый тропический останцовый карст в Швабской Юре, Моравском Карсте и Северо-Моравской карстовой области. К этой же геолого-геоморфологической зоне герцинских массивов и куэстовых гряд относятся известные карстовые массивы Франции Гран-Косс и Пти-Косс (Керси) с глубокими каньонами, множеством воронок, котловин, провалов, карстовых пропастей, пещер и подземных рек (Cvijić, 1960; Gèze, 1965, 1966). Карст под покровом рыхлых осадков развит в известняках Парижского бассейна. К герцинской зоне относятся и кар-

стовые районы испанской Месеты, Кантабрийских гор (за исключением их восточной части), Португалии.

Многочисленные карстовые районы Пиренеев, Альп и Карпат относятся к альпийской складчатой зоне. В Пиренеях известны подземные реки, текущие не согласно с поверхностной топографией, и глубокие шахты-пропасти, переходящие на глубине в систему горизонтальных пещерных ходов и подземных колодцев (Gèze, 1966). Альпы характеризуются интенсивно развитым карстом в известняковом окаймлении горноледникового высокогорья. В зоне больших высот передовых хребтов на поверхностях, покрывавшихся плейстоценовыми ледниками, развивается высокогорный карст. Известняковые Альпы и Предальпы изобилуют каньонами, каррами, воронками, естественными шахтами, пещерами, подземными ледниками. Карст известняковый и доломитовый голый и задернованный, местами гипсовый (Bögli, 1968; Brandecker, Maurin u. Zötl, 1965; Batsche, Bauer u. and, 1967; Silvestri, 1968; Kunaver, 1971). В Альпах находятся крупнейшие пещеры Европы и глубочайшие карстовые пропасти: пропасть Берже во Франции на плато Сорнен в массиве Веркор с грандиознейшими подземными колодцами (Gèze, 1965), держащая мировое первенство по глубине; пещерная система Хёллох в долине Муота в Швейцарии, превышающая сотню километров длиной и занимающая второе место в мире (Bögli, 1965, 1966, 1969; Gèze, 1968); пещера Айсризенвельт в Австрии 42 км длиной. Недавно на южной окраине Юлийских Альп обнаружена вторая по длине и самая глубокая (465 м) пещера в Югославии — Полошка Яма 9250 м длиной (Nabiš, 1967, 1970).

Карпаты и Среднедунайский бассейн включают многие карстовые районы Чехословакии, Польши, Венгрии и Румынии: Границкий Карст, горные районы Татр (Dgorra, 1967), в которых на территории Польши обнаружена самая глубокая из пещер этой страны — пещера Снежна (780 м) (Speleologia, 1967; Гвоздецкий, 1970), Демановскую долину, Словацкий Карст на границе Чехословакии и Венгрии с пещерой Домица-Барадла, или Аггтелекской (21 км длиной), и пещерой Мира, массивы Бюкк, Бихор, горы Черна, плато Мехединцы, горы Баконь, массив Вертеш, горы Будайские, Мечек и др. (Skřivánek, 1968a; Jakucs, 1968; Bleahu, Rusu, 1965; Orghidan și colab., 1965; Szabó, 1968). Здесь развит пре-

имущественно известняковый, отчасти доломитовый карст, задернованный и частично голый, а также погребенный и реликтовый тропический останцовый карст, исследованный В. Паношем и Ф. Скриванеком (Skřivánek, 1968) в Чехословакии, П. З. Сабо и Л. Якучем (Jakucs, 1968) в Венгрии. В северо-восточном Предкарпатье в Румынии есть соляной карст.

Южноевропейская Средиземноморская область альпийской складчатой зоны отличается особенно полным развитием карста на Балканском полуострове. Плато Крас (Карст), Словенское плоскогорье, полуостров Истрия, Динарские горы образуют классическую область голого карста средиземноморского типа (Гвоздецкий, 1970; Иванов, 1969; Cvijić, 1960; Guide de l'excurs. à travers le Karst Classique, 1965; Guide de l'excurs. à travers le Karst Dinarique, 1965; Gams, 1966a; Radinja, 1971). Тут больше, чем где-либо в Европе, от карста зависят многие особенности хозяйственной деятельности населения. Мощные толщи чистых известняков и довольно обильные дожди способствуют интенсивному развитию карста, а неравномерность сезонного распределения осадков в значительной мере определяет его своеобразие. Во многих местах существенную роль сыграло и сведение лесов. Характерны карстовые поля, скопления карстовых воронок, котловины, многочисленные обширные поля, пещеры, нередко достигающие значительных размеров (Gavrilović, 1966), естественные шахты (пропасти), пещерные и исчезающие реки, карстовые источники, периодически действующие источники (Гаврилович, 1967; Gavrilović, 1970; Habič, 1970), субмаринные источники у Адриатического побережья, карстовые озера. В полях и по их краям встречаются карстовые останцы — хумы.

Охарактеризованная в общих чертах область голого карста Югославии не вполне однородна. Район Классического Карста (плато Крас и др.) и более удаленные от Адриатического побережья карстовые районы Словении имеют очень сложную систему карстовых полей, пещер, подземного стока и подземных гидрографических связей (Habič, 1968, 1969 а, б; Gams, 1965, 1966 б). Здесь находится Постоянская пещера суммарной длиной 16 км 400 м (Хабе, 1965; 150 let Postojnske jame, 1968). Простирающаяся отсюда на юго-восток полоса собственно Динарского Карста в наибольшей степени



Рис. 41. Цетиньско поле в Черногории (Югославия). На переднем плане корродированные известняки в борту поля.

Фото Н. А. Гвоздецкого

характеризуется типичными чертами голого средиземноморского карста, изобилует карровыми полями, в том числе на известняковых откосах полей с плоскими днищами (рис. 41), которые расположены как бы ступенями на разных уровнях и имеют подземную гидрографическую связь. На плоских плато обильны воронки, характерны котловины типа увала, пещеры (Cvijić, 1960; Roglić, 1964, 1965 а, б). На высоких хребтах и массивах Динарского Карста карстовые явления развивались в перигляциальных условиях плейстоцена. На массиве Ловчен (1749 м) в Черногории карстовый рельеф сочетается с древним гляциально-нивальным (Гвоздецкий, 1970). И сейчас здесь много снежников в карстовых полостях (Гаврилович, 1963).

На восточном склоне Динарских гор карстовые явления развиты менее интенсивно, но все же и там широко распространены, встречаются они также во многих райо-

нах внутренней части Балканского полуострова (Cviji 1960; Gavrilović, 1965). На горах Беляница в восточной Сербии установлено распространение реликтового конического карста тропического типа (Gavrilović, 1969). К югу от Белграда карст развит в сарматских раковистых известняках, покрытых рыхлыми отложениями (Петрович и Гаврилович, 1960).

В разных геолого-геоморфологических условиях развит карст в горах Болгарии (Попов, Зяпков, Трантеев, 1964; Роров, 1965) и в Добрудже (последняя уже не относится к альпийской складчатой зоне). На юге Балканского п-ова карстовые явления расположены на плоскогорье Курвелеш в Албании, в Греции (Mistardis, 1968), включая п-ов Пелопоннес, Ионические о-ва с реликтовым останцовым тропическим карстом (Maurin и Zötl, 1966) и о. Крит.

Голый карст средиземноморского типа распространен и на Апеннинском п-ове. В центральных и южных Апеннинах, на массиве Гаргано и в других районах распространен известняковый и отчасти доломитовый карст, а на о. Сицилия — также и гипсовый. В Италии много карстовых пещер и глубоких пропастей. В Апуанских Альпах (Тоскана) находится пропасть Атро дель Коркиа 805 м глубиной. К Средиземноморской области альпийской складчатой зоны относятся некоторые районы известнякового, в основном голого, карста Пиренейского п-ова: Андалузских, Иберийских и восточной части Кантабрийских гор. Распространен карст также на Балеарских о-вах и в восточной Сардинии.

Зарубежная Азия. Продолжением южноевропейской Средиземноморской области альпийской складчатой зоны служат карстовые районы нагорий Западной Азии, где также развит голый известняковый карст. В Малой Азии (Турция) он известен в некоторых горных районах Западного Тавра, где встречаются воронки, поля, пещеры, исчезающие реки и ручьи и карстовые источники. Известняковый карст есть в отрогах Центрального Тавра (севернее Адана), местами в Понтийских горах, а во внутренней области Анатолийского плоскогорья — в районе оз. Туз — отмечался гипсовый карст. Гипсовый и соляной карст распространен также во внутренней части Иранского нагорья, в то время как в его окраинных горных хребтах встречается местами известняковый карст: на побережье Персидского залива и хр. Беша-

герт, в Сулеймановых горах и др. Голый известняковый карст известен на Аравийской платформе, в ее северо-западной части. В Курдских горах северного Ирана имеется карстовая пещера Шанидар, интересная в археологическом отношении. На побережьях Красного моря и Персидского залива подвергаются выщелачиванию приподнятые коралловые рифы.

В Индии карст известен лишь в южных Гималаях (долина Найни) и в горах Ассама, зато в Китае он распространен очень широко. Известняки разного возраста закарстованы в районах Восточного и Центрального Китая: к западу от Пекина, в провинции Шаньси, севернее и западнее Чунцина, в горной области, расположенной к востоку от Красного бассейна и пересекаемой р. Янцзы, где карст исследован главным образом вдоль Янцзы. В указанных районах наблюдаются пещеры, естественные шахты, закарстованные трещины, воронки, поля, местами карры, встречаются карстово-эрозионные овраги, наблюдаются потери речной воды (в Гуантинском водохранилище и верховье Цинцзяна). В северных районах Восточного Китая поверхностные карстовые формы развиты сравнительно слабо, но в глубине карбонатных толщ наблюдается интенсивная закарстованность.

Своеобразен тропический карст Южного Китая, привлекавший к себе большое внимание (Щукин, 1964; Русанов, 1962; Геллерт, 1966; Лебедев, 1968). Характерен, особенно для провинций Гуанси и Юньнань, останцовый, или фуллинный¹, карст (рис. 42) разных морфологических разновидностей: то с плосковерхими крутостенными (башенный карст), то с конусовидными (конический карст), то с густо расположенными пирамидальными останцами и заостренными пиками — гигантскими карровыми ребрами. Тропический карст Южного Китая характеризуется также развитием пещер и пещерных туннелей, нередко пронизывающих насквозь останцы, карстовых колодцев, трещин, естественных мостов, котловин и пр.

Тропический карст с крупными острыми карровыми ребрами и с подобными распространенным в Южном Китае останцами широко развит на п-ове Индокитай: в

¹ По-китайски «фуллины» — останцовые горы в виде столбов, пиков, конусов.



Рис. 42. Останцовый тропический карст в Южном Китае, на р. Гуйцзян южнее г. Янсо, в провинции Гуанси.

Фото В. Г. Лебедева

Бирме (Шаньское нагорье и др.), Таиланде, Лаосе, Северном Вьетнаме (Зубашенко, 1967; Мурзаев, 1967; Glazek, 1966, 1968). Здесь также есть котловины и воронки, пещеры и подземные реки, исчезающие водотоки. В карстовых районах Северного Вьетнама из-за утечки воды в закарстованные известняки возникают затруднения в поливах риса. По мнению Э. М. Мурзаева, там следует расширять неполивное земледелие, возделывать доходные культуры, не нуждающиеся в искусственном орошении. Некоторые карстовые местности совсем безводны и необжиты.

В Центральном Китае (юго-восточный Сычуань) и на п-ове Индокитай ограниченно распространен соляной карст.

Известняковый карст с останцами, воронками, полями, пещерами, воклюзскими источниками широко распространен на островах Индонезии (Balázs, 1968; 1970; Verstappen, 1969). Тропический останцовый карст развит на Яве и Суматре. В юго-западной части Сулавеси (Целебес) типично выражен тропический карст с ко-

нусовидными и округловершинными останцами, а также с полями, оригинальными грибовидными, испещренными каррами останцами на краевых карстовых равнинах (Щукин, 1964). В прибрежных районах карст развит в плейстоценовых коралловых известняках. Интенсивно развитый тропический карст встречается в горных лесах Новой Гвинеи. Воронки в плиоценовых известняках отмечены на о-ве Лусон (Филиппины). Незначительные по площади карстовые районы есть в Японии.

Африка. На этом континенте наиболее полно и широко карст развит в горах Атласа, принадлежащих к альпийской складчатой зоне. Там есть участки типично выраженного голого карста с каррами, воронками, полями, естественными мостами, исчезающими под землю водотоками, пещерными реками и воклюзскими источниками. В глубине известняковых массивов много пещер, а карстовые колодцы и пропасти иногда достигают нескольких сотен метров глубиной (Ану Буссуей — 539 м, Фриуато — 305 м). Х. Меншинг описал в Среднем Атласе формы своеобразного известнякового карста, развивающегося под покровом базальтов, с провалами на поверхности. На северо-западе Африки есть также гипсовый и соляной карст (Максимович, 1964).

Впадины карстового происхождения распространены к югу от Предсахарского Атласа, а в Сахаре имеются участки каменистой пустыни из водопроницаемых известняков, поля, наблюдается исчезновение вод у подножий горных массивов. Однако относительно интенсивное развитие карста в Сахаре в основном связывается с плейстоценовыми эпохами плейстоцена (Congrad, Gèze, Paloc, 1967, 1968). Современные карстовые процессы в Сахаре авторы указанных работ отрицают. Впадины гипсового карста есть в Триполитании. На плато Киренаики развит голый известняковый карст с каррами, воронками, котловинами, пещерами и карстовыми источниками. Голый карст с каррами, пещерами, предположительно полями отмечен в известняковых районах севера Ливийской пустыни, юго-восточного склона Абиссинского нагорья и Сомалийской ступенчатой страны. С древним погребенным карстом известняков Ливии связана нефтеносность (Максимович, 1964).

Известняковый и отчасти доломитовый карст отмечен в ряде районов Субэкваториальной и Экваториальной Африки: на севере Гвинеи, где своеобразно, в виде тра-

вертиновых занавесей, натеков и капельников проявляются карстовые процессы в кембрийских известняках (Kužvart, Neužil, 1965), в верховье Нигера, в синклинальной долине Ниари (Конго) и Ньянга (Габон), где в докембрийских известняках развит останцовый (кошачий) карст, распространены также воронки, пещеры и пр., на горе Элгон в Восточной Экваториальной Африке, в оз. Руква (Танзания), на нагорье Митумба (Конго), в Северной Родезии. Карст распространен и в Южной Африке: на известняковой платформе Газаленда восточнее низовья Лимпопо (Мозамбик), в горах Юго-Западной Африки, в опустыненных саваннах Калахари, в горных районах ЮАР (плато Кап и др.). Пещерная система Кэнгоу в Южной Африке имеет общую длину 2286 м. Известняковый карст развит и на о. Мадагаскар.

Формы выщелачивания в четвертичных и современных коралловых известняках распространены в районах восточного океанического побережья Африки и по берегу Красного моря.

Австралия. В Австралии карст развит главным образом в известняках, в том числе доломитизированных, реже в доломитах. Возраст карстующихся пород от кембрийского до четвертичного, физико-географические же условия изменяются от пустынных до влажных тропических. Карстовые воды питают постоянные реки. В разных районах для водоснабжения используются напорные карстовые воды при помощи артезианских скважин.

Ряд горных карстовых районов выделяется в системе Восточно-Австралийских гор: Чиллаго, Олсен, Джегнолен с известными сталактитовыми пещерами, Веллингтон, Уомбейн, Яррангобилли, Маррендал и Бахан. Во всех районах есть пещеры, в северных (Чиллаго, Олсен) — останцовый тропический карст, карры (Максимович, 1962 а; Jennings, 1969).

В северной территории выделяются карстовые провинции плато Баркли хр. Макдонелл. На юго-восточном продолжении первой расположена карстовая провинция истоков Даймантины в Квинсленде. На севере Западной Австралии находится карстовая провинция бассейнов Леннарда и Фицроя, представляющая собой систему передовых известняковых хребтов и плато юго-западного склона хр. Кинг Леопольд. В эту провинцию

входят горы Напьер, плато Оскар и соседние с ним известняковые горы в бассейне Фицроя. Здесь есть пещеры, карры, сухие каньоны, депрессии, колодцы и участки с останцовым башенным карстом (Jennings, 1969). У побережья Западной Австралии выделяются карстовые районы Дампира, Ашбертон—Гаскойн, Суонленда.

Своеобразна расположенная на юге Австралии, на побережье Большого Австралийского залива, карстовая провинция безводной равнины Налларбор. Восточнее ее, в Южной Австралии и Новом Южном Уэльсе выделяются карстовые районы и провинции Лофти и Муррея. На интенсивное развитие карста в южной части Австралии указывают мощные субмаринные источники, встречающиеся в ряде пунктов береговой черты.

Известняковый карст в виде различных поверхностных форм, пещер и подземных рек развит на Новой Каледонии, в Новой Зеландии (Gèze, 1963), Тасмании. В Океании широко развиты формы выщелачивания в коралловых известняках, современных и древних.

Северная Америка. На севере материка, в области Канадского щита, карст распространен локально. На западе Лаврентийского плато в архейских кристаллических известняках встречены карры. Самые крупные карстовые области Америки соответствуют почти горизонтально залегающим палеозойским карбонатным толщам Северо-Американской платформы. На обширных пространствах внеледникового юго-востока Центральных равнин США, особенно в южной Индиане, штатах Кентукки и Теннесси, карст развит очень интенсивно. На поверхности известняковых и доломитовых плато и расчлененных равнин здесь весьма типично выражен карстовый рельеф с воронками, котловинами, вытянутыми по трещинам и по простиранию слоев депрессиями (La Valle, 1967). В понорах на плато исчезает много ручьев, в долинах открываются мощные источники, трунтовые воды закарстованных плато являются важнейшим ресурсом водоснабжения и питания поверхностных вод (Brown, Lambert, 1963). Много подземных рек и пещер, в том числе громадных пещерных систем, таких, как длиннейшая в мире пещерная система хребта Флинт (Флинт-Ридж) и знаменитая, тоже колоссальная, Мамонтова пещера (Watson, Smith, 1968; Quinlan, 1970; White, Watson, Pohl, Brucker, 1970). Карст в почти горизонтально наложенных палеозойских доломитах и извест-

няках распространен также в штате Миссури. Здесь на плато Озарк и др. также есть поверхностные формы, пещеры, исчезающие и подземные реки, карстовые источники с резко изменяющимся дебитом (Aley, 1968.) Карбонатные породы платформенного палеозойского чехла закарстованы также в штатах Айова и Иллинойс, где изучены пещеры, вертикальные естественные шахты (Hedges, 1968) и погребенный карст. Слабо дислоцированные пермские известняки закарстованы на высоких плато в штатах Нью-Мексико и Техас. В первом из них находится большая и глубокая Карлсбадская пещера.

В Аппалачах карстовые формы в виде воронок, котловин, пещер, естественных мостов развиты в дислоцированных известняках и доломитах палеозоя. Поверхностные карстовые формы и в особенности пещеры встречаются в разных районах Кордильер на западе США: в Скалистых горах, бассейне Колорадо, Калифорнии и др. В северо-западной части штата Вайоминг, к югу от знаменитого Йеллоустонского парка, в системе Скалистых гор имеется горный карбонатный карст в моноклинально залегающих палеозойских породах с пещерами, многочисленными воронками и каррами (Stellmack, 1968).

В известняковых карстовых областях США очень много пещер. Только оборудованных и открытых для посещения туристов пещер насчитывается почти полторы сотни. Одни из них поражают гигантскими размерами, другие славятся богатством и оригинальностью натечно-капельных и прочих кристаллических образований, третьи (такие особенно привлекательны для туристов) — тем и другим вместе.

В США распространен не только карбонатный, но также гипсовый и соляной карст, например в штатах Оклахома, Техас и Канзас. Алебастровая пещера в Оклахоме открыта для туристского обозрения.

Во влажной субтропической Флориде пористые олигоценовые известняки пронизаны множеством пещерных туннелей, часто заполненных водой, а поверхность там изобилует провальными воронками и озерами. Многочисленны карстовые источники, в том числе субмаринные. К карсту Флориды близок по характеру тропический Карст Юкатана (Davis, 1930). Провальные воронки в неогеновых известняках, называемые там сеноте, играют большую роль в водоснабжении населения этой равнинной территории Мексики. Есть там воронки и других

типов, а также пещеры. На территории Мексики в Табаско типично выражен останцовый тропический карст. В той же стране известняковый карст развит еще в третичных отложениях побережья Калифорнийского залива, где известны пещеры, и в меловых отложениях Восточной Сьерры-Мадре, где кроме многочисленных пещер есть воронки, участки карровых полей, воклюзские источники и пр. Пещера Какахуамилпа в 100 км от г. Мехико выделяется значительными размерами. Карстовые пещеры и прочие формы распространены также в пограничной с Мексикой Гватемале, а также в Гондурасе.

Известняковый тропический карст широко распространен на Больших Антильских островах. На Кубе развит останцовый карст с коническими и куполовидными останцами, по-кубински «моготе» (это слово вошло в карстоведческую литературу в качестве термина). Много пещер, в том числе крупных и глубоких, — до 20—25 км длиной (Санто-Томас, Кагуанес, Хибара) и 340 м глубиной при длине 10 км (Фуэнтес). Пещеры морфологически разнообразны (Nuñez Jiménez, 1967 а). На стенах некоторых пещер имеются рисунки, выполненные индейцами (Nuñez Jiménez, 1967 б). Есть также воронки, котловины, поля, карровые поля, карстовые озера, исчезающие и подземные водотоки, карстовые источники, наземные и субмариновые. Закарстованы на Кубе известняки преимущественно верхней юры, олигоцена и миоцена (Нуньес Хименес, 1969; Nuñez Jiménez, Panos, Stelcl, 1966, 1968, 1969; Panoš, Štelcl, 1967, 1968; Štelcl, Panoš, 1967; Němec, Panoš, Štelcl, 1967).

В северной части о. Пуэрто-Рико также развит останцовый тропический карст. Между останцами там много впадин, характерны водопоглощающие поноры, подземные водотоки. Карст развит в олигоценовых и миоценовых известняках (по А. Герштенхауеру и У. Монрое — Monroe, 1969). Тропический останцовый карст распространен и на Ямайке, где закарстованы миоценовые и эоценовые известняки, в них многочисленны карстовые воронки, пещеры, источники, есть поля. (Cvijić, 1960; Limestone geomorphology... 1969). В одном из районов множество тесно расположенных глубоких и крутостенных впадин, которые буквально «съели» изначальную поверхность (Щукич, 1964). Карстовые явления встречаются и на Малых Антильских островах — Барбадосе, Кюрасао. На Багамских островах в приподнятых четвертич-

ных коралловых известняках образовались пещеры и воронки. Известны сталактитовые пещеры Бермудских островов, в которых белоснежные сверкающие сталактиты и сталагмиты контрастируют с заполняющей их до определенного уровня морской водой (*Davis, 1930*). В коралловых известняках на этих островах развиты карры.

Южная Америка. Карст развит в горах на северо-западе Венесуэлы, где преимущественно закарстованы карбонатные отложения меловой системы, есть воронки, колодцы, пещеры, в том числе известная Гуахаро (Максимович, 1962 б). Карстовые пещеры и карры местами отмечены в мезозойских известняках Западных Кордильер Колумбии и Эквадора. В Береговых Кордильерах Чили возле Кошцепсьон в мезозойских известняках также есть пещеры и карры. В Андах Аргентины, у Мендоса и в Патагонии встречаются карры и карстовые ванны. На Тихоокеанском побережье Южной Америки и ближайших островах, особенно на юге Чили, местами развит карст, на дне Тихого океана есть субмариинные источники.

На Бразильском нагорье отмечались поглощение поверхностных вод и исчезновение водотоков в известняках. В Паране в известняках палеозоя зарегистрированы пещеры и провалы. Севернее Белу-Оризонти (штат Минас-Жерайс) Ж. Трикар описал карст в силурийских известняках: останцовые изолированные массивы и грибообразные столбы, воронки и котловины, карры на склонах массивов. Среди пещер Бразилии пещера Лапа-Нова ди Носса-Сеньора, близ Византе, славится разнообразием натечно-капельных образований (Максимович, 1962 б). Крупнейшая пещера Бразилии и всей Южной Америки — Лапа де Бреве около 8 км длиной.

Даже беглый обзор распространения и особенностей карста на земном шаре показывает весьма широкое его развитие и вместе с тем большое разнообразие форм, гидрологических явлений и карстовых ландшафтов.

Ландшафтные особенности закарстованных территорий и карстовый ландшафт

Понятие о карстовом ландшафте

Вопрос о карстовом ландшафте нами рассмотрен в специальной главе предыдущей монографии (Гвоздецкий, 1950, 1954). При этом мы рассматривали карстовый ландшафт не только как особый тип рельефа земной поверхности (прежде ведь в понятие ландшафта нередко вкладывали чисто геоморфологический смысл — «моренный ландшафт» и т. д.), а как своеобразный физико-географический комплекс, т. е. в освещении вопроса о карстовом ландшафте пытались придерживаться ландшафтно-географической позиции.

Конечно, специфику ландшафта закарстованной территории составляют прежде всего ее геоморфологические особенности. Различные поверхностные карстовые формы — карры, воронки, котловины, слепые балки и овраги, карстовые желоба, зияющие отверстия устьев естественных колодцев и шахт, ниши в скалистых обрывах, открытые гроты и входы в пещеры, карстовые останцы — представляют собой важные *элементы ландшафта*. К тому же они оказывают существенное влияние на другие компоненты ландшафта, потому что имеют свой микроклимат и даже разные микроклиматы на склонах различной экспозиции и дне карстовой воронки, котловины и т. п., усложняют распределение поверхностного стока, создают пестроту в распределении почвенно-растительного покрова и т. д., что показано нами на конкретных примерах (там же, см. также Гвоздецкий, 1949, 1954). Некоторые элементы карстового рельефа (например, днища крупных карстовых котловин и полей) можно рассматривать уже не в качестве элементов ландшафта и свойственных им сочетаний элементарных ландшафтов (фаций), а как особые *микроландшафты* (Гвоздецкий, 1961 а).

Специфику ландшафта закарстованных территорий составляют также их гидрологические и гидрогеологические особенности: особенности стока, хорошо показанные в новых монографических работах (Владимиров, 1964; Балков, 1970), своеобразие режима подземных вод и связанного с ним режима озер и источников, своеобразие речной сети — наличие исчезающих под землю водотоков, подземных рек и ручьев, рек, внезапно появившихся на поверхность в виде мощных источников воклюзского типа. Общеизвестна дренарующая роль карста, улучшающая свойства ландшафта в избыточно увлажненных областях и усиливающая недостаток влаги в областях засушливых.

Там, где карстующиеся породы не прикрыты иными геологическими образованиями (задернованный и полужадернованный карст), они оказывают непосредственное влияние на формирование почвенно-растительного покрова. К приведенным примерам (Гвоздецкий, 1949, 1950, 1954) о своеобразии почв на известняках Кавказа и Крыма (по данным И. Н. Антипова-Каратаева и Л. И. Прасолова, Ив. П. Герасимова, О. Н. Михайловской, А. М. Панкова), где распространены горнолесные дерново-карбонатные и горно-луговые черноземовидные почвы («персгойно-карбонатные черные горнолуговые почвы», по А. М. Панкову, 1930), можно добавить и своеобразие почв на гипсах. В районах гипсового карста Польши, к северо-востоку от Кракова, на левобережной части бассейна р. Ниды, распространены непосредственно на гипсах своеобразные, очень темные, почти черные почвы, которые польские почвоведы называют гипсовыми рендзинами (Гвоздецкий, 1970).

В Средиземноморье как европейском, так и африканском на известняках формируются особые красноватые почвы, которые известны под названием terra rossa (Герасимов, 1953). В Югославии такие почвы называют яровицей. Они чаще всего располагаются в понижениях (воронках, блюдцах, котловинах) закарстованной поверхности (Гвоздецкий, 1970). Карстовый рельеф оказывает существенное влияние на распределение и мощность черноземовидных горнолуговых и горнолесных почв на известняках Крыма и Кавказа.

По данным ряда исследований, особенно Н. М. Альбова и А. Н. Краснова, на южном склоне западной части Большого Кавказа нами показано своеобразие ра-

стительности на известняках (Гвоздецкий, 1949, 1950, 1954). Растительность горных лугов на известняковых хребтах и массивах Кавказа Н. М. Альбов (1893, 1894, 1896) называл известковой растительностью. О лесной растительности в тропических областях п-ова Индокитай Л. Кюизинье (Cuisinier, 1929) пишет как об известковой растительности (*végétation calcicole*).

Влияние гипсового субстрата на растительность отметил В. Б. Сочава (1948) для бассейна Урупа в западной части полосы куэст на северном склоне Большого Кавказа, где на гипсах и его элювии растительный покров более остепнен, чем в районах с иным субстратом, получающих даже меньшее количество осадков.

Своеобразие рельефа, стока, гидрографической сети и режима подземных вод, пестрота микроклиматических условий и почвенно-растительного покрова, во многих случаях также своеобразие почв и растительности позволяют рассматривать ландшафты закарстованных территорий либо как особые типы ландшафтов, либо как подтипы и группы среди лесных, лесостепных, степных ландшафтов и т. д. Это зависит от того, выходят ли карстующиеся породы непосредственно на дневную поверхность, или они одеты почвенно-дерновым покровом, а может быть, перекрыты некарстующимися слоями горных пород.

Зависимость карстового ландшафта от степени закрытости карстующихся горных пород

В опыте классификации ландшафтов СССР (Гвоздецкий, 1961 б) в качестве особого типа ландшафта нами выделен голый карст, относящийся к классам равнинных и горных ландшафтов. Действительно, в целом карсте, где карстующиеся породы выходят непосредственно на поверхность, карстовый ландшафт проявляется настолько ярко и своеобразно, что его невозможно отнести ни к одному из зональных (широтно- и высотно-зональных) типов ландшафта. Основной фон территории составляют пространства голых карровых полей с почти несформировавшимся почвенным и растительным покровом. Лишь в понижениях карстовых воронок, блюд и котловин, где накапливается глинистый элювий,

может возникнуть более или менее сплошной почвенно-растительный покров. На верхних плато яйл Горного Крыма (верхнее плато Чатырдага, Караби-яйлы) это травянистый дерновый покров, на более низких — с древесно-кустарниковой растительностью, придающей облику ландшафта большую пестроту и пятнистость.

В югославском карсте (плато Крас, Динарское нагорье) в воронках и небольших котловинах типа ўвала встречается много маленьких полей с различными сельскохозяйственными культурами, в незатапливаемых частях днищ крупных полей — большие поля, а в тех частях днищ полей, которые в холодное полугодие затапливаются водой и превращаются во временные озера, — пастбища летнего сезона. Сейчас площади полей расширяются за счет пастбищ благодаря искусственному изменению водного режима полей в связи с гидротехническим строительством (Гвоздецкий, 1970; Горбунова, 1969; Чикишев, 1967). В классическом карсте на плато Крас (Карст) на яровице, образующейся в понижениях карстовой поверхности, растет черный виноград, из которого изготавливают вино «теран», очень вкусное и полезное из-за того, что содержит молочную кислоту.

Типичный голый карст распространен в субтропических областях со средиземноморским климатом, но встречаются континентальные варианты голого карста, свойственные, например, низкогорьям Средней Азии (см. гл. VIII и X). Весьма своеобразен голый карст тропического пояса, где иногда бывают плодородными даже карровые поля (частично разрушенные), которые используются под плантации культуры ананаса (Bennett, 1928). Классическим примером холокарста (т. е. карста с полно выраженным комплексом карстовых форм) Й. Цвийич считает карст о. Ямайка (Cvijić, 1960). Гораздо реже голый карст встречается в умеренных, суббореальных, широтах, где его распространение может быть связано с оголенностью известняковой поверхности ледниковым сносом.

Если карстующиеся породы частично или полностью одеты почвенно-дерновым покровом (полузадернованный и задернованный карст), то здесь в наибольшей степени проявляется непосредственное влияние горной породы (известняка, гипса и т. д.) на почвенно-растительный покров. Тут встречаются разнообразные карстовые формы рельефа, за исключением карровых полей в пол-

ностью задернованном карсте. Характерно выражены и гидрологические особенности. В зависимости от степени задернования этот карст может быть отнесен к особому типу ландшафта, как и голый, или выделен в подтип, относящийся к горнолесному, горнолуговому или другому типу. Ранг подтипа, а не более низкий (группы) определяется тем, что характер горной породы отражается на геохимическом своеобразии ландшафта (типоморфный ион иной, чем на некарстующихся породах соседних территорий, и т. д.), типе почв и характере растительности (о критериях выделения подтипа и группы ландшафта см. Гвоздецкий, 1961 б).

В случае если карстующиеся породы перекрыты некарстующимися геологическими образованиями, но карст проявляется на поверхности в виде форм просасывания, провалов и т. п., а также особыми условиями стока и гидрологическими явлениями (покрытый и бронированный карст), карстующиеся породы не оказывают непосредственного влияния на почвы и растительность. Наличие их отражается в ландшафте косвенно, через дренирующее влияние карста и изменение гидрологического режима. Некоторые закарстованные равнинные поверхности при отсутствии карста в зонально-секторных физико-географических условиях, присущих им, были бы заняты верховыми болотами, что отмечалось Н. К. Тихомировым (1934), а для одного из районов Урала — Г. А. Максимовичем (1936). Н. Н. Соболев (1899 а, б) отмечал, что в области распространения карстующихся известняков и доломитов карбона на Онежско-Двинском междуречье гораздо меньше болот и рек, чем на том же междуречье при отсутствии карста, что здесь намного плодороднее почвы и лучше лесная растительность. А. С. Козменко (1931) писал о влиянии карстовых провалов в ложинах на характер почв и состав луговой растительности, на улучшение в этом случае качества лугов. В лесостепных же районах Приангарья карстовые явления служат причиной недостаточного поверхностного почвенного увлажнения (Ладейников и Остроумов, 1949; Вологодский, 1965). Иссущающее влияние карста — общая закономерность для водораздельных пространств с недостаточным увлажнением — степных, полупустынных, пустынных (Герасимов, 1953), — но оно проявляется и в таежных областях.

На Байкале, на о. Ольхон и близ него по берегам

озера, «интенсивной закарстованностью карбонатных массивов обусловлено формирование степного ландшафта, безводие долин и глубокое залегание подземных вод» (Вологодский, 1968, стр. 117), что создает трудности в организации водоснабжения и землепользования. То же в Прибайкалье, севернее, на междуречье Лены и Правой Тонгоды, «с карстом связано остепнение целого ряда долин... в карбонатных породах нижнего кембрия, что является резкой аномалией для окружающей местности, покрытой густой таежной растительностью и приподнятой над уровнем океана на высоту 1150 м» (там же, стр. 112). В бассейне р. Киренги на отдельных участках «карстом обусловлена деградация многолетней мерзлоты» (там же).

Непосредственное проявление карстовых процессов в рельефе, гидрологическом режиме и гидрографии территории, а также косвенное влияние карста через изменение условий стока на почвенно-растительный покров позволяют выделять ландшафты на участках покрытого и бронированного карста в особые группы карстовых ландшафтов, которые относятся к зональным типам и подтипам, соответствующим местным физико-географическим условиям. В бронированном карсте влияние на ландшафтные особенности слабее, чем в покрытом.

В наименьшей степени на ландшафтных особенностях территории отражается погребенный, или ископаемый, карст. Он может оказывать влияние лишь изменением гидрогеологических условий.

Подземный ландшафт

О подземном мире как почти безжизненном географическом ландшафте писал В. П. Семенов-Тянь-Шанский (1928). Но это комплекс не только с особой «подземной топографией» (Гвоздецкий, 1948), своим пещерным климатом, подземной гидрографической сетью, состоящей из рек, ручьев, озер, но и со специфическими растительностью и особенно животным миром. Данное нами представление о подземном ландшафте (Гвоздецкий, 1950, 1954) развивали Б. А. Гергедава (1968, а, б), работавший под руководством Л. И. Маруашвили, и сам Л. И. Маруашвили (1971).

Карст и строительство

Необходимость изучения карстовых явлений для народного хозяйства и различных сторон практической деятельности не вызывает сомнений, и значение такого изучения исключительно велико. Всякое серьезное хозяйственное мероприятие в районе интенсивного развития карста должно осуществляться лишь после всестороннего и детального его исследования. Случаи недоучета этого положения почти всегда приводили к нежелательным последствиям (Гвоздецкий, 1952 а, 1954; Гвоздецкий и Чикишев, 1969).

Гидротехническое строительство

Часто приходилось и приходится сталкиваться с карстом при гидротехническом, в особенности гидроэнергетическом строительстве, поскольку долины в известняках обычно сужены (в горных областях и предгорьях они имеют вид тесных ущелий и каньонов) и топографические условия для сооружения плотин или деривационных тоннелей и каналов (в горах) кажутся весьма благоприятными.

Однако большую опасность представляет дренирующая способность карста, которая может приводить к утечке воды из водохранилища. Такие случаи неоднократно имели место в зарубежной практике гидростроительства. Примеры этому — водохранилища испанских плотин Мария-Кристина, Монте-Хаке, Камараза, французской плотины Сен-Гильельм-ле-Дезер, американских Хэлс-Бар, Ланьер и многих других (Гвоздецкий, 1954; Лыкошин, 1968; Люжон, 1936; Терцаги, 1935; Якушова, 1948). Вода водохранилища плотины Монте-Хаке 72-метровой высоты целиком поглощалась юрскими известняками, и водохранилище никогда не было наполнено во-

дой. Ни одной капли воды не удерживала и плотина Сен-Гильельм-ле-Дезер с основанием в юрских известняках. Очень сложной и длительной была борьба с утечкой воды из водохранилища плотины Камараза 92-метровой высоты. Для определения путей фильтрации проводились многочисленные опыты с окрашиванием воды флуоресцеином, велись колоссальные работы по цементации, создавалась преграда для фильтрации в виде цементационной завесы. Борьба с утечкой воды продолжалась в течение пяти лет. Еще более длительной была борьба с потерями воды из водохранилища плотины Хэлс-Бар на р. Теннесси. Несмотря на предпринятое до возведения плотины цементирование, потери воды были так велики, что потребовали дополнительного уплотнения русла. Сооружение плотины было сопряжено с большими расходами и продолжалось восемь лет (1905—1913 гг.). Работа по уплотнению русла длилась еще 13 лет и увенчалась частичным успехом благодаря применению асфальтизации. Однако в 1940 г. во время паводков фильтрация резко увеличилась и потребовались новые капитальные работы по бетонированию.

Бывали случаи и разрушения плотин, причиной которых в той или иной мере послужили карстовые процессы (Гвоздецкий, 1954; Гельфер, 1936; Саваренский, 1939; Терцаги, 1935). Провал над карстовыми пустотами под действием нагрузки сооружения был причиной разрушения плотины Аустин в Техасе. Выщелачивание прослоев гипса в основании плотины Сент-Фрэнсис в Калифорнии, вызвавшее фильтрацию, явилось одной из причин грандиозной катастрофы—разрушения этой плотины, сопровождавшегося многочисленными человеческими жертвами. В результате выщелачивания пипсов образовались трещины в плотине Бирс в окрестностях Базеля и произошло ее оседание. Разрушение плотины было предотвращено благодаря своевременно принятым мерам.

Невозможность удержать воду в некоторых водохранилищах, а также аварии и катастрофы с плотинами привели к тому, что на карст стали смотреть как на явное противопоказание для строительства плотин и создания водохранилищ, а также для устройства каналов, туннелей и прочих сооружений, которые должны задерживать или пропускать воду.

Изменению взгляда на возможность сооружения пло-

тин и водохранилищ в закарстованных породах способствовали развитию техники консолидации и уплотнения горных пород в примыканиях и основаниях сооружений путем цементации и битумизации, освоение методов устройства бетонных стенок при помощи бурения скважин шахт большого диаметра. Удачное применение этих методов было осуществлено при сооружении плотин гидроэнергетического каскада на р. Тениссес в США. Успешно осуществляется гидроэнергетическое строительство в карстовых районах Югославии (Гвоздецкий, 1970; Горбунова, 1969; Иванов, 1969; Guide de l'excursion... 1965), где оно к тому же хорошо сочетается с интересами сельского хозяйства, позволяя за счет регулирования гидрологического режима полей увеличивать площади пахотных земель на их днищах.

Богатый опыт гидроэнергетического строительства в карстовых областях и районах СССР зиждется на специальном инженерно-геологическом изучении карста с выявлением закономерностей его развития. Знание этих закономерностей «позволяет принимать верные и зачастую весьма смелые решения при строительстве плотин в сильнозакарстованных районах» (Лыкошин, 1968, стр. 4). Защита от опасных проявлений карстового процесса достигается созданием сложных противифльтрационных завес, экранированием и искусственным кольматажем, т. е. закупоркой при помощи глины трещин и карстовых ходов.

В советской практике гидротехнического строительства было немало случаев, когда приходилось сталкиваться с сильной трещиноватостью известняков или доломитов и карстовыми явлениями. Примерами могут служить плотины на р. Черной в Крыму (Саверенский, 1939), на реках Волхове, Сызрани (там же; Гвоздецкий, 1954; Якушова, 1948), Белорецкое водохранилище на р. Белой (Соколов, 1948). Многочисленны случаи проектирования и создания гидротехнических сооружений в карстовых районах Кавказа: РионГЭС, Ткибульская и Шаорская котловины (Геология и плотины, 1962), ИнгурГЭС, ряд районов и объектов на северном склоне Большого Кавказа. В условиях трещиноватых карбонатных пород и карста гидротехническое строительство осуществлялось на реках Прибалтики: Плявиньская ГЭС, Нарвский гидроузел (Лыкошин, 1968). Нельзя, наконец, не отметить детального изучения карста при проектировании

гидротехнического строительства на реках Волге, Каме, Уфе (Павловская ГЭС), Днепре (Каховский гидроузел), Ангаре, Чирчике (Гвоздецкий, 1954; Жуковский, 1956, 1960; Лыкошин, 1959, 1962, 1968; Молоков и Калмыкова, 1962; Соколов, 1959; Чечот и Зегельман, 1963).

В некоторых случаях в результате исследований удавалось так разместить сооружения гидроузла и так наметить границы и уровень затопления, чтобы карст не оказывал на них влияния, т. е. «уйти» от карста. В других же случаях приходилось «приспосабливать» сооружения к закарстованным породам, взаимодействие с которыми оказывалось неизбежным.

Примеры осуществления «ухода» от карста дают плотины и водохранилища Шаорской и Ткибульской ГЭС в западном Закавказье, Куйбышевской ГЭС на Волге, проект Нижнеуфимской плотины (Лыкошин, 1962, 1968). Начатые под руководством А. С. Баркова (1932) по заданию Волгостроя специальные исследования карста Самарской Луки на Волге (в них принимал участие Н. И. Соколов) были затем продолжены В. М. Бутровым, А. Ф. Якушовой, Г. В. Обедиентовой, Е. Н. Пермяковым, Н. В. Соловьевым, Н. В. Родионовым, Д. С. Соколовым (1959), В. С. Полевым (1964). В связи с тем что обнаружилась тектоническая и карстовая нарушенность пород, плотину Куйбышевской ГЭС, которую в начале проектирования намечали строить на скальном основании, в конце концов построили выше закарстованного участка — на глинах кинельского возраста в неогеновой протоке реки (Попов, 1967).

На Ангаре долгое время велись исследования закарстованного участка в месте предполагавшегося строительства Бархатовской ГЭС (Соколов, 1957 а; Гвоздецкий, 1952, 1954). Однако в связи с повышенной закарстованностью карбонатных пород нижнего кембрия в районе с. Бархатово пришлось отказаться от строительства здесь ГЭС (Вологодский, 1965) и так же, как на Волге, в районе Куйбышевской ГЭС, «уйти» от карста, но перенести плотину не вверх по реке от закарстованного участка, а значительно ниже по реке, в район Братска.

В условиях сильной закарстованности пород сооружения Сызранская и Павловская плотины, а в промежуточных условиях — Нарвский и Каховский гидроузлы (Лыкошин, 1962, 1968).

При исследовании карста в связи с проектированием гидротехнических сооружений особое внимание уделялось изучению путей утечки воды. Для определения возможных путей фильтрации в некоторых случаях проводилось окрашивание воды флуоресцеином (Милихикер, 1962). Тщательное изучение условий трещиноватости и закарстованности пород позволяло применять разнообразные противофильтрационные мероприятия. Если существует предположение о возможности фильтрации через водораздел в соседнюю долину, очень важно выяснить глубину залегания грунтовых вод в приводораздельной зоне. Превышение здесь проектируемого уровня заполнения водой водохранилища уровнем грунтовых вод исключает такую фильтрацию.

До недавнего времени наше гидротехническое строительство шло в основном по линии освоения равнинных рек с большими расходами и сооружения на них низконапорных плотин (с высотами до 40 м). При этом считался вполне допустимым расход обходного (кругом плотины) фильтрационного потока в том случае, когда он не превышал 1—2% среднегодового расхода реки, даже если он измерялся многими кубометрами в секунду.

Естественно, что на малых реках с небольшими расходами крупные фильтрационные потери недопустимы, поскольку они не возмещаются притоком воды, а дорогостоящие противофильтрационные мероприятия в этих условиях экономически не оправданы. Поэтому при выборе места для создания плотин и водохранилищ на реках с малыми расходами всегда целесообразно придерживаться принципа ухода от карста (Лыкошин, 1968). Когда этот принцип на практике не выдерживался, результат получался плачевным. Например, недоучет карста при строительстве сельской ГЭС на р. Осе в Приангарье на участке развития карстующихся кембрийских пород — ангидритов с прослоями доломитов (Гвоздецкий, 1954) — «привел к значительной утечке воды из водохранилища», что заставило уже при эксплуатации станции проводить «большие капитальные работы по предотвращению этой утечки» (Вологодский, 1965, стр. 102). Случай катастрофической потери воды из искусственно построенного водоема произошел в 1951 г. в Бирюлинском зверосовхозе Высокогорского района Татарской АССР. Здесь в течение двух суток

был осушен водоем емкостью 200 000 куб. м (Васильев, 1966).

Теперь передовым направлением в развитии гидроэнергетики считается сооружение высоких плотин в горных районах с напорами 200—300 м. В связи с этим принципиально меняется отношение к допускаемым расходам обходной фильтрации, меняются, следовательно, и требования к проектированию противофильтрационных завес. «В этих новых условиях, когда энергия воды с подъемом ее на большую высоту резко возрастает, а речные расходы относительно невелики, предотвращение даже небольших фильтрационных расходов в сотни и десятки метров в секунду приобретает смысл и оправдывает необходимые для этого затраты» (Лыкошин, 1968, стр. 125). Новые условия проектирования и строительства плотин повышают, таким образом, требования к эффективности противофильтрационных завес, а из этого вытекает необходимость более точного обоснования их размеров в процессе инженерно-геологических исследований.

По мнению ряда авторитетных советских специалистов, имеющих большой опыт изучения карста в связи с гидротехническим строительством, современные процессы растворения карбонатных пород вследствие их очень медленного развития не могут за короткое время создать большие пустоты и каналы, которые вызвали бы значительные утечки воды из водохранилища и создали бы угрозу для устойчивости сооружений (Лыкошин, 1962, 1964, 1968; Якушова, 1948). Основную опасность, по мнению этих специалистов, представляет не самый процесс растворения, а наличие ранее созданных карстовых форм и вынос фильтрующейся водой заполняющего их рыхлого материала. «...До сих пор, — пишет А. Г. Лыкошин (1968, стр. 94), — ни на одной из плотин, построенных на карбонатных породах, не отмечены признаки развития карста, т. е. такого растворения пород, которое сказалось бы на усилении фильтрации или ослаблении прочности пород. Известные случаи аварий... или затруднений при строительстве и эксплуатации плотин... не дают основания предполагать, что они в какой-то степени обусловлены растворением породы» (речь идет здесь только о плотинах и водохранилищах в карбонатных породах). Во всех известных случаях увеличение водопроницаемости (фильтрационного

расхода), по мнению А. Г. Лыкошина, объясняется вымыванием рыхлого заполнителя из трещин и карстовых каналов (карстово-фильтрационных трактов).

Если придерживаться этого положения, то тщательное изучение уже существующей закарстованности пород, обеспечивающее правильность выбора и применения противοфильтрационных и других мероприятий, делает вполне реальным (и это показывает опыт советского гидроэнергетического строительства) создание гидротехнических сооружений в закарстованных карбонатных породах. Однако некоторые исследователи — Ф. Ф. Лаптев (1939), Н. В. Родионов (1948, 1958), Д. Фринк (Frink, 1946), — основываясь на экспериментальных данных, не придерживались высказанных здесь положений. Особенно настораживают последние экспериментальные исследования Е. М. Абашидзе (см. гл. III), которые показывают, что не во всех без исключения случаях можно сбрасывать со счета реальную в современных условиях скорость растворения карбонатных пород. При этом нужно принять во внимание еще два обстоятельства. Первое — это повышение требований к проектированию противοфильтрационных завес в связи с сооружением высоких плотин, о чем говорилось выше, так как те расходы обходных фильтрационных потоков, которые допускались при низконапорных плотинах на крупных реках, уже не могут быть допустимы. Второе — это резкое увеличение агрессивности природных вод за счет всевозможных промышленных стоков во многих районах (см. раздел «Влияние человеческой деятельности», гл. IV). В таком случае системы противοфильтрационных завес приходится рассматривать не только как «пломбирование» существующих пустот и трещин, но и как препятствие к дальнейшему развитию карста, поскольку эти завесы задерживают движение воды внутри карстующихся карбонатных пород.

И совершенно очевидно, что для карбонатных пород исключение из вышеотмеченного правила — медленного разрушения пород под растворяющим действием фильтрующихся водных потоков — могут составлять некоторые малоплотные разновидности известняков-ракушечников и пишущий мел.

Что же касается гипсового карста, который развивается пораздо быстрее карбонатного, то там важней-

шим моментом является скорое насыщение вод, которые в силу этого на дальнейших путях движения теряют свою растворяющую способность. Поэтому даже на гипсоносных карстующихся породах возможность гидротехнического строительства полностью не исключается, хотя здесь в связи с большой скоростью растворения сульфатных пород (гипса и ангидрита) должны проводиться особенно тщательные исследования. Как мы видели выше, выщелачивание гипса являлось причиной некоторых катастроф и аварий на крупных гидротехнических сооружениях.

В СССР накопился большой опыт исследований карста в связи с гидротехническим строительством, обобщенный в ряде теоретических и инструктивно-методических работ (Лыкошин, 1959, 1964; Соколов, 1947 а, б, 1959; Якушова, 1948). К последним относятся особенно интересные исследования А. Г. Лыкошина (1962, 1968).

Работы Д. С. Соколова, А. Г. Лыкошина, А. Ф. Якушовой, Ш. Г. Милихикера (1962), Е. М. Тимофеева (1968) и др. показывают, насколько важно при выяснении закономерностей распространения карста в связи с гидротехническим строительством установить основные этапы развития карста на фоне геологического и геоморфологического развития территории.

Энергетическое значение имеют не только реки в карстовых областях, но и мощные карстовые источники. Истари на них сооружались водяные мельницы, затем лесопилы и другие промышленные предприятия, а позднее, особенно в горных районах, на них стали создавать и гидроэлектростанции: у нас — на южном склоне западной половины Большого Кавказа, за рубежом — в Болгарии, Югославии, Албании, Австрии, во Франции, в Турции и других странах (Максимович, 1969).

С карстовыми явлениями часто приходится сталкиваться при строительстве малых водоемов — прудов. Их массовое устройство в районах карстующихся пород заставляет проводить специальные инженерно-геологические исследования (Родионов, 1958, 1963 б).

Если при крупном гидротехническом строительстве водохранилище создается в гипсоносных породах, то может оказаться так, что вода водохранилища будет оказывать выщелачивающее действие на гипсы, обнажающиеся в его бортах. Эти процессы очень широко развиты на берегах Камского водохранилища. За счет выще-

дачивания гипсов береговой обрыв отступает, и скорость этого отступления, по данным И. А. Печеркина (1969), достигает 2—2,5 м в год. Такое быстрое отступление берега, а также опасность образования на побережье катастрофических провалов должны приниматься во внимание при возведении в районе водохранилища гражданских и промышленных сооружений. Здесь мы соприкасаемся уже со следующей подтемой настоящей главы. Укажем лишь на практически важный опыт типологии закарстованных берегов Камского водохранилища и разработку общей методики изучения устойчивости закарстованных территорий на побережьях водохранилищ (Печеркин, 1969, 1970).

Промышленное и гражданское строительство

Строительство зданий и прочих тяжелых сооружений в карстовых районах требует серьезных исследований карста при выборе строительных площадок (Кавеев, 1963; Родионов, 1958, 1963 а; Газизов, 1968; Лукин, 1968, 1970). «Явно выраженный карст... внушает вполне основательные опасения в отношении устойчивости сооружений» (Саваренский, 1939, стр. 141). Наша территория дает немало примеров сложных инженерно-геологических условий гражданского и промышленного строительства в карстовых районах.

Неблагоприятными условиями для застройки отличалась, например, старая часть Уфы. Еще П. С. Паллас отмечал неудачное расположение этого города и возникновение в нем провалов (см. гл. I). Да и сейчас «развитие гипсового карста в Уфе и ее окрестностях ограничивает возможности роста города, препятствуя строительству и эксплуатации промышленных, гражданских и дорожных объектов» (Усольцев, Мартин, 1969, стр. 109). Приблизительно с рубежа прошлого и нынешнего столетий по 1965—1966 гг. на Уфимском карстовом косогоре (откосе берега р. Белой) зарегистрировано 80 карстовых провалов, в старой Уфе — 26. Провалы образуются также в северной части Уфы и ее окрестностях. Известен ряд случаев разрушения строений в результате вновь образующихся карстовых провалов. В городе можно видеть покосившиеся в связи с карстовыми прова-

лами дома. Иногда образование провалов ускорялось в результате утечек воды из городского водопровода (Усольцев, Мартин, 1969).

Гипсовый карст интенсивно развивается в районе станции Чусовская в Предуралье, где в пределах застроенной части пристанционного поселка провалы вызвали деформацию ряда зданий (Кириченко, Шаклеин, Яковенко, 1969). Для получения данных об устойчивости поверхности и зданий здесь организованы геодезические наблюдения. В Предуралье широко развит карст также в г. Кунгуре и его окрестностях (Лукин, 1964, 1968).

Широко распространен покрытый карбонатно-гипсовый карст и проявляются современные карстовые процессы в г. Дзержинске на р. Оке, где была создана специальная карстовая станция Лаборатории гидрогеологических проблем (Ильин, Капустин и др., 1960; Кавеев, 1963; Родионов, 1958; Саваренский, 1963). Выше (гл. II) говорилось о прогнозах вероятности образования провалов определенного диаметра, основанных на статистической обработке данных массовых исследований. Для изучения закономерностей распространения карста района г. Дзержинска применялся также комплекс геофизических методов, включавший гравиметрию, электроразведку, каротаж скважин и резистивиметрию вод поверхностных водоемов (Брашнина, 1968, 1970).

С процессами растворения известняков, доломитов, гипсов и ангидритов нижней перми (артинский и сакмарский ярусы) связаны карстовые явления в г. Альметьевске — новом нефтяном городе, построенном в районе известного Акташского карстового провала (в 1939 г. этот провал образовался под тяжестью пахавшего поле трактора). Поверхностные карстовые формы в районе Альметьевска представлены небольшими конусообразными и блюдцеобразными воронками и крупным Акташским провалом, который с момента образования сильно расширился за счет обрушения бортов. Хотя карстующиеся толщи прикрыты водоупорными отложениями уфимской свиты, случай с Акташским провалом говорит о неполной надежности основания, на котором осуществлялось строительство города. На участках, прилегающих к бортам древней потребленной долины р. Степной Зай, возможно образование новых про-

валов. Поэтому на территории застройки были проведены детальные исследования, включающие бурение и электропрофилирование между скважинами (Мухин, 1956, 1968; Родионов, 1958).

В Москве был случай серьезного повреждения фабрики, косвенно связанный с наличием карста в известняках каменноугольного возраста (Попов, 1967).

Исследования карста велись при выборе площадей для промышленного строительства в Приангарье (Соколов, 1934; Седов, 1937; Вологодский, 1965 и др.). Из-за карста возникли большие трудности со строительством обогатительной фабрики на Сафроновском угольном карьере в районе Черемхово — Свирск. В основании здания фабрики в процессе строительства были обнаружены большие зияющие карстовые полости, что заставило пересмотреть проект и подвести под здание фабрики сплошную бетонную плиту. На закарстованном основании (доломиты и известняки нижнего кембрия) построена Бархатовская лесоперевалочная база. Г. П. Вологодский отмечает также трудности, возникшие при строительстве и эксплуатации Коршуновского обогатительного комбината из-за повышенной закарстованности устькутской свиты ордовика.

При строительстве тяжелых сооружений очень существенно, какой тип карста распространен и развивается ли он по наслению горизонтально залегающих пород (в условиях платформы) или преимущественно по вертикальным трещинам тектонической отдельности. Очень опасен карст, в котором продолжают возникать поверхностные провальные формы, в особенности быстро развивающийся гипсовый карст. Если же строительство предполагается в условиях покрытого карста с воронками просачивания, то может оказаться, что между редкими трещинами известнякового или доломитового цоколя, куда вмываются и проседают рыхлые покровные образования (с чем связано возникновение воронок), располагаются незатронутые растворением блоки прочной твердой породы, служащие прекрасным основанием для строительства тяжелых зданий. Если рыхлый покров снимается и фундамент здания возводится непосредственно на твердом основании цоколя, трещины будут вскрыты и обезврежены. Видеть же опасность в дальнейшем расширении трещин нет оснований, так как карбонатный карст практически развивается очень мед-

ленно (Гвоздецкий, 1954, стр. 176). Те данные экспериментальных исследований, которые настораживают при изысканиях для гидротехнического строительства (ведь фильтрация воды может осуществляться по довольно тонким трещинам), в данном случае могут в расчет не приниматься. Исключение должны составить лишь отдельные виды малопрочных карбонатных пород, в том числе пишущий мел (Попов, 1967), если не иметь в виду еще действие особо агрессивных растворов.

Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИС) Госстроя СССР разработаны рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР. Эти рекомендации содержат методы оценки устойчивости территорий, возможности и интенсивности развития карста и методические особенности производства различных изысканий в условиях карста для указанных целей (Рекомендации, 1967).

Дорожное строительство и создание других линейных сооружений

Специального изучения карста требует проведение железных дорог в областях распространения растворимых пород (Борков, 1962; Дубровкин, 1948; Попов, 1950; Раша, 1939; Скворцов, 1962; Проектирование, строительство и эксплуатация... 1968). Известно много случаев, когда недоучет наличия карстовых явлений приводил к нежелательным результатам.

На одном из участков железнодорожной линии в Западной Украине происходили провалы в породах мелового возраста — мелу и мелоподобных мергелях. Эти провалы причинили управлению бывших Полесских железных дорог немало хлопот: «...из предосторожности пришлось уменьшить на этом пространстве скорость движения всех поездов (даже скорых) до 5 верст в час, значительно усилить дорожный надзор, местами проводить под шпалы продольные лежни и т. п.» (Тутковский, 1911, стр. 5). Причины возникновения провалов выяснялись А. Михальским (1901), а позднее П. Тутковским (1911), причем Тутковский не согласился с вы-

водоМ Михальского о выщелачивании мергелей водами местного происхождения, обусловленными инфильтрацией атмосферных осадков, и объяснил возникновение провалов действием вод артезианского типа, восходящих по тектоническим трещинам. Мелоподобные мергли и мел верхнемелового возраста распространяются на восточную и юго-восточную части Белоруссии, причем в них и здесь довольно широко развит карст, в то время как в северной и северо-восточной частях БССР карстуются карбонатные породы верхнего девона. Таким образом, карстовые явления развиты и на отдельных участках сети Белорусской железной дороги, что вызывает необходимость инженерно-геологического районирования и исследований карста с применением геофизических методов (Седенко, 1968).

Через обширную карстовую область с активными карстовыми процессами проложена железнодорожная магистраль на севере Русской равнины (Соболев, 1899). В Латвийской ССР линия Рига — Крустпилс у Саулкане пересекает участок гипсового карста, развитого в верхнедевонских отложениях (саласпилская свита). На этом участке неоднократно наблюдались провалы и деформации земляного полотна (Юрченко, 1968).

В центральной части Русской равнины железная дорога Новки — Иваново своим южным участком пересекает карстующиеся карбонатные и гипсово-ангидритовые породы верхнего палеозоя, приподнятые в осевой зоне Окско-Цнинского вала. Наиболее угрожаемыми в отношении карстовых провалов являются борта долины р. Шижегды на перегоне Шорыгино — Лодыгино. Железнодорожный путь здесь требует постоянного наблюдения, необходимы буровые и геофизические исследования и противокарстовые мероприятия в целях обеспечения безопасности движения поездов (Ильин, 1968).

Зону карстующихся пород — гипсов и доломитов нижней перми — пересекает Донецкая железная дорога. Особенно активно карст развивается в районе с. Дроновка на перегоне Ямполь — Яма, причем этот участок является частью главной магистрали Москва — Ростов, имеющей большую грузонапряженность и интенсивность движения. В 1963 г. образовался карстовый провал в 35 м от железнодорожного полотна, а проведенными на следующий год буровыми работами была обнаружена крупная карстовая полость непосредственно под полот-

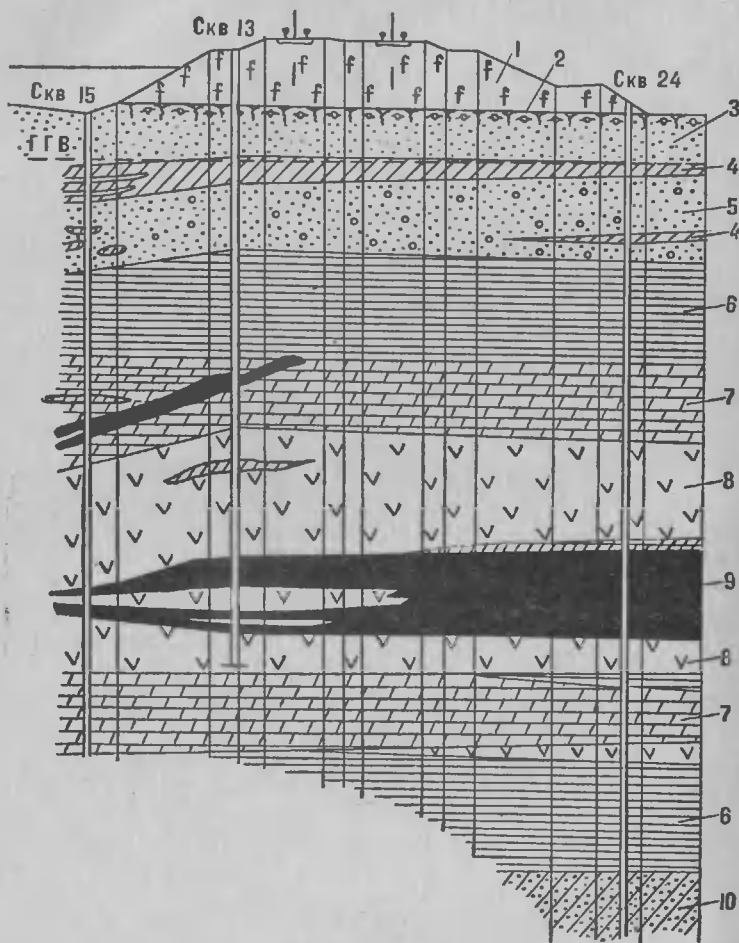


Рис. 43. Карстовые полости под полотном железной дороги на линии Москва—Ростов (по А. Г. Молдобожко).

1 — насыпной грунт, 2 — почвенно-растительный слой, 3 — пески мелкозернистые глинистые, 4 — глины красно-бурые, 5 — пески разнотернистые, преимущественно с гравием и галькой, 6 — глины-аргиллиты серые, 7 — доломиты, 8 — гипсы кавернозные сильно трещиноватые, 9 — зияющие карстовые полости, 10 — песчаники алевролитовые рыхлые

ном железной дороги (рис. 43). Службой пути был немедленно принят ряд срочных мер по обеспечению безопасности движения поездов, для дальнейшей эксплуатации пути разработано несколько вариантов противокарстовых мероприятий (Молибожко, 1968).

В силу особенностей геологического строения Русской равнины гипсовый карст очень широко распространен в ее восточной половине. И не удивительно, что именно здесь, в Поволжье и Предуралье, он причинял и причиняет наибольшие неприятности в строительстве и эксплуатации железных дорог.

В свое время в Самарском Заволжье пришлось из-за карста и оползней перенести на другое место значительный участок железнодорожного полотна, причем на оставленном участке были брошены два железнодорожных моста и станция (Гвоздецкий, 1952 а, 1954).

В Среднем Поволжье через карстовые районы проходят железнодорожные линии Москва — Горький (на участке Сейма — Доскино протяженностью 28 км применены противокарстовые мероприятия), Горький — Арзамас, Муром — Арзамас — Казань, Свияжск — Бурлуки — Ульяновск, Зеленый Дол — Йошкар-Ола — Табашино, Казань — Агрыз, Ульяновск — Бугульма — Уфа, Инза — Сызрань — Чапаевск — Куйбышев — Кинель (Ступишин, 1966, 1968). К последнему участку последней дороги относится сказанное в предыдущем абзаце. Карстуются в Среднем Поволжье преимущественно известняки, доломиты и гипсы пермского возраста, отчасти (на юге) трещиноватые меловые породы верхнемелового возраста. Естественно, что при такой обширной закарстованности и довольно значительной густоте железнодорожной сети знание условий развития карста в разных областях в районах Среднего Поволжья очень важно для проектирования строительства железнодорожных линий и принятия профилактических противокарстовых мер на действующих линиях, проходящих через участки активного карста. Комплекс таких мероприятий для обеспечения безопасности движения успешно разрабатывается Управлением Горьковской железной дороги (Буйлаков, 1968; Пресняков, Агашков, 1968), в ведении которого находятся и некоторые железнодорожные линии Западного Предуралья (Плоткин, 1968). В октябре 1965 г. в г. Горьком было создано совещание по обобщению опыта эксплуатации, строитель-

ства и проектирования земляного полотна в карстовых районах и по обобщению результатов соответствующих научных исследований (Проектирование, строительство и эксплуатация... 1968).

Весьма поучителен пример знаменитого Уфимского косогора (Иванов, 1897, 1899; Чернышев, 1897), где железнодорожное полотно проложено в области распространения сильно карстующихся гипсоносных пермских пород. Вскоре после постройки пути вблизи полотна начали возникать провальные воронки. Иногда в глубине образовавшихся провалов наблюдались ходы, шедшие прямо под полотно. Провалы постоянно угрожали разрушить железнодорожное полотно, вызвать катастрофу. Возникла необходимость частого ремонта пути. По мнению геолога Д. Л. Иванова, всех этих неприятностей можно было избежать, если бы дорогу провели несколько южнее. В работе Д. Л. Иванова (1899) имеется подробное описание геологических условий и карстовых форм Уфимского косогора, а также отдельных случаев образования провалов и прекрасный иллюстрированный материал. Некоторые из рисунков, помещенных в этой работе, вошли во многие геологические руководства.

В 1927 г. на одном из километров Уфимского косогора появилась провальная воронка диаметром 42 м и глубиной 12 м. Почти каждый год, преимущественно весной, появлялись новые воронки, мелкие провалы, трещины. На косогоре неоднократно проводились инженерно-геологические обследования. В 1957—1959 гг. были построены водопропускные сооружения—штольни с бетонной обделкой, штольни в карстовых лотах для подвода воды к искусственным трубам, железобетонные лотки. В 1964—1965 гг. по проекту «Ленгипротранса» проведены дополнительные работы по урегулированию поверхностного стока устройством лотка и систем канав с железобетонной одеждой, а провальные воронки в ближайших лотах затампонированы. Организованы систематические наблюдения за состоянием пути. Хотя на многих участках путь стабилизировался, но возможность появления новых карстовых провалов полностью не исключена (Чернухина, 1968).

Через зону карстующихся нижнепермских отложений (известняки, доломиты и гипсы кунгурского яруса) Предуралья проходит железнодорожная линия Казань — Свердловск. А. А. Чернов, работавший здесь с сотрудни-

ками, установил, что на одном из участков проектировавшейся линии имеется 14-верстная полоса провалов, угрожающих устойчивости полотна (Чернов и Швецов, 1915). Долгое время, в течение почти полувека, деформаций полотна не наблюдалось, однако с 1957 г. образовалось несколько провалов непосредственно у железнодорожной линии в основании земляного полотна. Проведенным в 1963 г. бурением вскрыты карстовые полости, заполненные водой, глиной, дрсвой и щебнем. В 1965 г. образовался провал у разъезда Атер. Разработаны мероприятия по регулированию поверхностного стока атмосферных вод, тампонажу карстовых воронок, цементации вяжущими растворами и искусственному обрушению подземных полостей небольшими взрывами (Плоткин, 1968).

Через карстующиеся кунгурские же отложения проходит и железнодорожная линия Пермь — Свердловск в районе г. Кунгура. Большое количество воронок и провалов в гипсе и гипсоносных карбонатных породах вызвало серьезные осложнения при ее проектировании (Штукенберг, 1911). Провальные явления наблюдались и на других закарстованных участках Свердловской железной дороги: на линии Пермь II — Гороблагодатская, на ст. Скальный. В первом случае рекомендованы отвод поверхностных вод от полотна дороги, прекращение сброса вод в карстовые воронки, тампонаж воронок и пр., во втором — те же дренажные мероприятия, исправление водоотводных сооружений, недопущение стока вод к железнодорожному пути из соседней шахты (Пресняков, Агашков, 1968). На западном склоне Среднего Урала вследствие оседания полотна из-за карста был заново проложен по новой трассе железнодорожный путь между станциями Усьва и Баская (Чикишев, 1964).

В Восточной Сибири, по данным Г. П. Вологодского, при строительстве и эксплуатации железной дороги Тайшет—Усть-Кут зарегистрировано несколько больших деформаций полотна, которые вызваны отседанием крупных массивов усть-кутских известняков (ордовик) при участии выщелачивания.

Борьба с деформациями железнодорожного полотна, вызываемыми карстовыми провалами, способствовала не только совершенствованию методики изучения закарстованных участков, но и разработке системы противо-

карстовых мероприятий. В ряде случаев уже упоминалось об улучшении поверхностного стока, о сбросе атмосферных вод по железобетонным лоткам с целью уменьшения инфильтрации вод в карстующиеся толщи горных пород, тампонаже карстовых полостей и провалов. Для укрепления самого пути применяют укладку контррельсов, временные рельсовые пакеты, подвешиваемые на хомутах к концам шпал, подбалластные настилы из железобетонных балок, лежневые надкарстовые конструкции. Подбалластный сплошной настил (рельсовый путь со шпалами и балластной призмой располагается на сплошном настиле из продольных по направлению пути железобетонных балок) допускает безопасное образование воронки до 10 м в диаметре непосредственно под железнодорожным полотном. На особо опасных участках можно сооружать эстакады или мостовые переходы. Помимо осуществления противокарстовых мероприятий во всех случаях усиливаются путевые обходы, организуется специальный надзор за состоянием пути и земляного полотна. Эффективна установка оповестительной электрорелейной сигнализации (Проектирование, строительство и эксплуатация... 1968).

Специальных исследований требует создание шоссейных и грунтовых дорог в карстовых районах (Кухарев, 1935), а также мостов на этих дорогах (Тарунина, 1963).

Большие неожиданности могут встретиться при устройстве различных туннелей в толщах закарстованных пород. При проведении железнодорожной линии между Римом и Неаполем в Италии был пробит туннель через гору Монте-Орсо, сложенную меловыми известняками. Туннель вошел в кровлю большой пещеры (70 м длиной и до 12 м высотой). Трассу пришлось бросить и идти штольней в обход пещеры (Саваренский, 1931, 1939). Значительную опасность представляет приток в туннели карстовых вод (Максимович, 1968, 1969). Карстовые пустоты встречались при постройке Московского метрополитена (Саваренский, 1939; Якушова, 1949).

Сооружение гидротехнических туннелей требует применения комплекса различных методов изучения карста (Иванов, 1968). При проведении работ на Ялтинском гидротуннеле осуществлен комплекс геолого-геофизических карстологических исследований (Васильев, 1968).

Из других линейных объектов можно упомянуть еще

высоковольтные линии электропередач. При проектировании их тяжелых опор на закарстованных породах тоже требуются специальные исследования с применением бурения и геофизических методов (Молдавская, Овсенко, 1958; Чикишев, 1964; Кухарев, 1966, 1968). Прокладка нефте- и газопроводов в карстовых районах тоже может вызвать необходимость специальных исследований.

При изысканиях для проектирования и строительства дорог и других линейных объектов в принципе сохраняется тот же подход к литологическим типам карста. Из-за медленности развития карста в известняках и доломитах выясняются главным образом морфология и пространственное размещение уже существующих карстовых полостей. В сульфатном же карсте сверх того необходима оценка динамики развития карста в природных и измененных строительством условиях. Необходимость оценки скорости развития карста возникает еще при линейном строительстве в пишущем меле (легкая диспергация структуры мела под действием воды ускоряет разрушение мела совместным действием выщелачивания и суффозии) и на малоплотных известняках-ракушечниках (Попов, 1967).

Инженерно-геологическое районирование

Характеристику карста Европейской части СССР (включая весь Урал) в инженерно-геологическом аспекте, привязанную к схеме инженерно-геологического районирования территории, содержит региональная сводка И. В. Попова (1965, 1969). Краткое обобщение, основанное на анализе распространения формаций — карбонатной, галогенной (с субформациями гипсово-доломитовой, гипсово-ангидритовой и соляной), меловой и в некоторых случаях терригенно-карбонатной, — в разных структурных этажах, слагающих осадочный чехол Русской платформы, содержит статья И. В. Попова и И. А. Саваренского (1966). Она дает основу инженерно-геологического районирования карста Русской платформы. Иные принципы районирования карста Европейской части СССР были изложены ранее в докладе Н. В. Родионова (1960), который предложил различать карст

горноскладчатых областей, платформенных областей и областей предгорных прогибов, а внутри областей выделять районы по принадлежности к крупным тектоническим структурам, в пределах которых наметил типы карста с учетом геоморфологических, тектонических и других условий. Для восточных областей СССР имеются опыты инженерно-геологического районирования карста лишь разрозненных территорий (например, Соколов, 1957 б; Вологодский, 1959, 1965), и при рассмотрении их в целом пока можно руководствоваться лишь общими схемами районирования карста (см. гл. IX) или обзорной схемой СССР.

Обзорная схема районирования всей территории СССР по условиям строительства в карстовых районах дана в разработанных Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя СССР рекомендациях по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для строительства в карстовых районах СССР. На схеме выделены районы карбонатного (1), мелового (2), гипсового и карбонатно-гипсового (3), соляного, гипсово-соляного и карбонатно-гипсово-соляного (4) карста на фоне оконтуренных тектонических регионов. В легенде к карте приведена краткая инженерно-геологическая характеристика этих районов (Рекомендации, 1967).

Карст и горное дело

Исключительно велико значение карста для горнодобывающей промышленности. Иногда карстовые явления затрудняют разработку полезных ископаемых, залегающих ниже или на уровне карстующихся пород. В других случаях карст оказывается благоприятным фактором для разработки месторождений, располагающихся в карстовых районах, но не обязательно имеющих с карстом генетическую связь. И наконец, в очень многих случаях сами полезные ископаемые имеют связь с карстом, то более или менее косвенную, то тесную, генетическую.

Разработка полезных ископаемых в условиях карста

Особую роль в развитии советского карстоведения сыграло Кизеловское угольное месторождение, где приходится разрабатывать пласты угленосной толщи, залегающие под закарстованными каменноугольными известняками и доломитами. Карстовые явления представляли здесь серьезные затруднения при разведочном бурении, капитальном шахтном строительстве, добыче угля и при создании разного рода подсобных сооружений. Приток вод из водоносных карстовых горизонтов не только затруднял капитальное шахтное строительство, но и ставил под угрозу безопасность эксплуатационных работ из-за возможности прорыва вод. Необходимо было детальное исследование карста. В связи с этим в декабре 1933 г. в г. Кизеле была созвана специальная карстовая конференция, а созданная в 1934 г. Уральская научно-исследовательская карстовая станция начала свою работу с разрешения теоретических и практических проблем карста Кизеловского района. Карстовые явления в

Кизеловском каменноугольном районе и вопросы практики горного дела в связи с карстом получили широкое литературное освещение (Васильев и Шеин, 1932; Головцин, 1935; Ильин и Кельманский, 1938; Кельманский, 1938, 1940; Матерялы карстов. конф., 1935; Сидоров, 1947; Толстихина, 1936; Шевяков, 1948 и др.). Борьба с карстом осуществлялась и на последующих этапах эксплуатации Кизеловского угольного месторождения (Коптялов, 1956; Печеркин, 1962).

Приток карстовых вод в шахты Кизеловского бассейна достигает иногда 2700 куб. м/час. Такой большой приток воды затрудняет эксплуатацию месторождения, требует применения специальных методов проходки стволов шахт (цементации и глинизации), борьбы с паводковыми водами путем тампонирования карстовых воронок и перехвата поверхностного стока, больших затрат на установку мощных водоотливных средств. Самым главным, конечно, является хорошая организация водоотливного хозяйства, так как шахтный водоотлив является одним из решающих факторов безопасности ведения горных работ. Водоотлив крупных шахт создает большие депрессионные воронки, в которых можно и целесообразно располагать шахты с меньшей производительностью (Печеркин и Карзенков, 1964).

С карстовыми явлениями встречаются в Донецком каменноугольном бассейне (Верболоз, 1958), в Иркутском угленосном бассейне, где карст влияет на условия залегания угольных пластов и на обводненность месторождения (Волотодский, 1965), Подмосковном бурогоугольном бассейне (Михайлова, 1962; Севостьянов, 1971). В районах карбонатного карста расположен Прибалтийский сланцевый бассейн — месторождения горючих сланцев Ленинградской области и Эстонии, где карст существенно влияет на условия проходки стволов шахт и добычу сланцев, вызывая также и обводненность горных выработок (Газизов, 1962; Левыкин, 1962). Глубинные карстовые нарушения в Прибалтийском сланцевом бассейне служат водопроводящими путями, участками сосредоточенного поступления и внезапного прорыва подземных вод, причиной неожиданных обрушений кровли и пр. (Газизов, 1965). На основании изучения трещиноватости, закарстованности и обводненности горных пород Эстонского сланцевого месторождения обоснована необходимость создания дренажных завес с целью сни-

жения напора подземных вод на кровлю выработок (практически до нуля) и интенсификации дренажа. Локальное осушение путем создания дренажных завес по штрекам дает осушение статических запасов подземных вод в покрывающих породах и перехват динамического потока воды (Газизов, Талве, 1966).

С карстовыми явлениями связана обводненность многих рудных месторождений Урала — марганца и в особенности бокситов (Медведев, 1962). На Североуральских бокситовых рудниках (СУБР) в связи с разработкой мероприятий по борьбе с обводнением рудников поверхностными водами ряд организаций изучали распространенный здесь покрытый карст (Девдариани, 1963; Колодяжная, 1958, 1970; Колодяжная, Сунцов и др. 1961; Короткевич, 1959). Под влиянием снижения уровня карстовых вод при эксплуатации рудников здесь усилилось образование воронок просасывания, между тем как они являются главными очагами поглощения речного и склонового стока, который обводняет подземные эксплуатационные выработки. Борьба с поглощением вод ведется здесь посредством экранирования рек и перехвата склонового стока каналами. Обводнение горных выработок карстовыми водами наблюдается также на Миргалымсайском месторождении полиметаллов в Южном Казахстане (хр. Каратау).

На Слюдянском флогопитовом руднике в Прибайкалье, по данным Г. П. Вологодского, создавалась сложная обстановка для эксплуатации, когда подземные выработки оказались заглубленными ниже уровня карстовых вод в архейских мраморах. В штольни стало поступать громадное количество воды, особенно во время катастрофических прорывов карстовых вод. Пришлось заложить в скальных породах трехкилометровой длины водоотводную штольню со сбросом воды в Байкал.

Случаи, приведенные здесь в виде примеров, и некоторые другие, им подобные, создали представление о большой обводненности и исключительной трудности освоения месторождений полезных ископаемых в карстовых районах. Иногда ставится даже под сомнение возможность дренажа и осуществления борьбы с притоком воды имеющимися техническими средствами либо экономическая целесообразность освоения месторождения в целом.

Лаборатория специальных способов проходки горных выработок и водопонижения Института горного дела имени А. А. Скочинского в 1959—1960 гг. обобщила опыт строительства и разработки месторождений полезных ископаемых, находящихся в сложных геологических условиях, в том числе в карстующихся породах. Результаты проведенных исследований показали (Газизов, 1968 а), что представление о карсте лишь как об отрицательном факторе при освоении полезных ископаемых требуется пересмотреть, поскольку закарстованные массивы с успехом могут быть использованы для целей водопонижения.

Выполнение горных работ на ряде месторождений в карстовых районах показало возможность успешной проходки горнокапитальных выработок в закарстованных и трещиноватых породах с применением в необходимых случаях бурения передовых разведочных и дренажных скважин. Сосредоточенные выходы подземных вод из скальных пород, в том числе и из закарстованных карбонатных пород, снижают давление воды на кровлю и почву горных выработок.

Сложной проблемой водопонижения в горном деле является дренаж рыхлых водонасыщенных пород (в большинстве случаев плавунного типа) с малой водоотдачей, слабой водопроницаемостью и низкими несущими свойствами в горных выработках. В карстовых районах для решения этой проблемы рекомендуется использовать специфические особенности закарстованных пород (высокие водоотдачу и поглощение, устойчивость по отношению к горному и гидродинамическому давлению) для размещения в закарстованных массивах дренажных выработок и осушения через них рыхлых пород с малой водоотдачей.

Таким образом, роль карста в горном деле определяется в основном расположением закарстованного массива по отношению к залежи полезного ископаемого и толще водоносных пород с малой водоотдачей, слабой водопроницаемостью и низкими несущими свойствами. Когда водообильный массив закарстованных пород вмещает или перекрывает залежь полезного ископаемого и карстовые воды являются источником обводнения горных выработок, карст играет отрицательную роль. К этому случаю относятся многие из приведенных выше примеров, в том числе Кизеловское угольное месторож-

дение, Прибалтийский сланцевый бассейн, уральские месторождения бокситов, Миргалимсайское месторождение полиметаллов. Когда же закарстованный массив с ограниченными ресурсами вод и источниками питания подстилает толщу водоносных пород с малой водоотдачей и низкими несущими свойствами, карст играет положительную роль. Повышенная водопроницаемость и водоотдача карстующихся пород благоприятствуют размещению в них дренажных выработок и осушению через их толщу месторождений полезных ископаемых (Газизов, 1968 а). Например, при производстве разведочных и горнопроходческих работ на Соколовском и Сарбайском железорудных месторождениях в Кустанайской области Казахстана «в известняках нижнего карбона были вскрыты карстовые формы, представляющие собой исключительно важный практический интерес при водопонижении» (Газизов, 1968 б, стр. 43). То же имеет место на Яковлевском, Качарском железорудных месторождениях Казахстана и др.

В Подмосковном бурогольном бассейне карст играет двоякую роль. С одной стороны, карстовые явления значительно осложняют здесь систему разработки и условия добычи угля. С другой стороны, гидравлическая связь вод надугольных и подугольных песков и непосредственно подстилающих их известняков благоприятствует осушению песков и угольного пласта (через закарстованные упинские известняки осушаются тульские и бобриковские пески. Газизов, 1968 а).

Двоякую роль играет карст и в Иркутском угольном бассейне. Нарушения залегания слоев угленосных юрских песчаников, связанные с закарстованностью подстилающих их доломитов и известняков нижнего кембрия, осложняют разработку угольных пластов. В пределах Черемхово-Касьяновского поля встречаются площадные опускания угольных пластов, иногда на глубину 20 м, локальные провалы, многочисленные безугольные участки, разного рода трещины. В деформирующейся толще песчаники часто превращаются в пески и пльвуны, а уголь — в сажу. В отдельных случаях карстовые нарушения пластов приводят к повышению их обводненности. Однако естественный дренаж юрских отложений за счет переливания воды в нижележащую закарстованную карбонатную толщу облегчает разработку месторождения. Относительно слабая обводненность юрских отло-

жений в пределах того же Черемхово-Касьяновского поля в значительной мере объясняется переливом воды в кембрийскую закарстованную толщу. Ее водопоглощающую способность в последнее время стали использовать для сброса шахтных вод (Вологодский, 1965).

Сильно осложняется быстро развивающимся соляным карстом разработка каменной и калийных солей (Дзенс-Литовский, 1966; Короткевич, 1970; Ходьков, 1962). Здесь мы сталкиваемся со случаем, когда полезными ископаемыми являются сами карстующиеся толщи. Известняк, гипс, пишущий мел и другие карстующиеся породы тоже служат полезными ископаемыми. Поверхностные карстовые формы облегчают выявление и оконтуривание площадей их распространения. Карстовые формы часто играют роль руководящего признака при геологическом картировании известняков или гипсов, особенно в лесных областях с редкими естественными обнажениями. Карстовые формы облегчают и добычу этих ископаемых, если разработка идет в небольшом объеме, для местных нужд. В других случаях карст может сильно осложнять разработку. Например, близ г. Младеч в Чехословакии (Северо-Моравская карстовая область) пришлось отказаться от разработки известняков закарстованного массива Тржесинской возвышенности и строительства цементного завода, потому что карст здесь развит настолько интенсивно, что невозможно было подсчитать запасы известняков (Гвоздецкий, 1970). На западном склоне Южного Урала и в Приуралье разработки нижнекаменноугольных и нижнепермских оолитовых известняков дают пример отрицательной роли карста в сохранении этих месторождений. Многие участки залежей камня непригодны для эксплуатации из-за провальных воронок и пещер (Вахрушев, 1964).

По отношению к месторождениям гипса роль карста, как правило, отрицательная. По данным Г. П. Вологодского (1965), в Южном Приангарье закарстованность ограничивает и удорожает разработку гипсовых месторождений, уменьшая запасы и повышая их обводненность. В отдельных месторождениях нижние горизонты, залегающие ниже уровня рек и водохранилищ, из-за повышенной закарстованности и сильной обводненности признаны непригодными для эксплуатации.

Полезные ископаемые, связанные с карстом¹

Пещеры и другого типа карстовые полости представляют большой интерес в минералогическом и геохимическом отношениях (Martel, 1896; Ферсман, 1926; 1952; Гвоздецкий, 1954). В настоящее время в пещерах карбонатного карста известно свыше 80 вторичных минералов (Максимович, 1970). Рудные и нерудные минералы часто концентрируются в таких количествах, что представляют интерес для промышленной разработки.

Иногда образование месторождений имеет только косвенную связь с развитием карстовых полостей. Эта связь была показана еще Э. Мартелем (Martel, 1896, ч. III). Связующее звено составляет трещиноватость. Тектонические и другие трещины в горной породе направляли как коррозионную и эрозионную деятельность подземных вод, разрабатывавших пещерные полости, так и проникновение различных, в том числе термальных, растворов, а также паров и газов, из которых осаждались рудные и нерудные минералы. Натянутый пример такого рода связи дают описанные Мартелем пещеры Пика (Дербишир), прорезающие ряд свинцовых жил.

В других случаях образование месторождений имеет более тесную связь с карстом. Руды и другие минералы выполняют пустоты, образованные в результате карстовых процессов, которые протекали до аккумуляции ископаемых. В зоне гипергенеза значительная концентрация химических веществ с образованием месторождений полезных ископаемых обусловлена геохимическими барьерами, т. е. она происходит в участках зоны гипергенеза, где на коротком расстоянии наблюдается резкая смена условий миграции химических элементов (Перельман, 1965; Максимович, Кропачев, 1969; Максимович, 1970).

Карстовые пустоты нередко бывают целиком заполнены полезными ископаемыми и сопутствующими им минералами. В таком случае приходится иметь дело с древним, ископаемым карстом. Однако знание закономерностей развития карста дает ключ к пониманию рас-

¹ При написании этого раздела частично использован материал статьи, опубликованной совместно с А. Г. Чикишевым (Гвоздецкий, Чикишев, 1969).

положения ископаемых карстовых полостей, и теория карста является руководящей при разведке полезного ископаемого.

Полезные ископаемые бывают связаны не только с подземными, но и с поверхностными карстовыми формами. Неровности рельефа закарстованной поверхности влияют на распределение аллювиального материала, определяя концентрацию в карстовых «ловушках» более тяжелых компонентов аллювиальных отложений (россыпные золото, платина, алмазы). Вместе с тем карбонатные породы, в которых развиваются поверхностные карстовые формы, часто выступают в роли осадителей металлов в гипергенных условиях. В результате химического осаждения растворов, содержащих гидроокислы различных элементов, в карстовых полостях сформировались различные по величине залежи железных руд, марганца, фосфоритов и других полезных ископаемых.

С карстом связаны многие месторождения руд цветных и редких металлов. Заполнение пустот карстового характера показывают свинцово-цинковые месторождения Райбля в Каринтии, в Юго-Восточных Альпах (Ферсман, 1926; Берг, 1937); месторождения Иглесиас в Сардинии; месторождения в районе Монтепони, где глубокие вертикальные карстовые шахты от 1 до 40 м диаметром заполнены галенитом и баритом. Частью к этому же типу, по А. Е. Ферсману, относятся рудные месторождения Миссури, Лауриона и Мексики, может быть, также и Девоншира.

В штате Миссури (США) свинцовые, цинковые и цинково-свинцовые руды приурочены к полого залегающим доломитам и известнякам и к вторичным кварцитам среди карстовых воронок, подземных каналов и пещер. Карстовые воронки окаймлены кольцеобразными рудными залежами, достигающими 195—240 м в поперечнике (Гинзбург, 1964). Руды Тренча (Югославия) залегают в изобилующем пустотами трещиноватом мраморе (там же). В тесной связи с карстом находится месторождение цветных металлов (медь, свинец, цинк, ванадий и др.) Отави в Западной Африке. К названным выше месторождениям, по-видимому, близки крупные месторождения цинковых руд в окрестностях г. Джоплин, на границе штатов Миссури и Канзас в США. «Руды залегают здесь в карстовых пустотах (воронках выщелачивания) известняка каменноугольного возраста» (Берг,

1937, стр. 273). В отмеченных случаях концентрация металлов произошла при гидротермальных процессах.

К иному типу месторождений, связанных с карстом, относятся некоторые месторождения железных руд. Образование так называемых бобовых железных руд и карстовых железных руд тесно связано с процессами выщелачивания известняков, содержащих примеси. В очень богатой железом элювиальной коре выветривания известняков (терра-росса) железо собирается в виде небольших конкреций (бобовые руды) или гидрат окиси железа осаждается корками и желвакообразными массами на поверхности известняка, концентрируясь иногда в глубоких пещерах и трубах (карстовые железные руды). Карстовые железные руды и бобовые руды широко распространены в известняковых районах. Особенно много их на плоской возвышенности Швабского Альба в ФРГ (Берг, 1937). С усовершенствованием методов разведки и обогащения эти руды должны получить большое практическое значение.

В СССР месторождения железных руд, связанных с карстовыми формами, распространены довольно широко — на Урале, в Западной Сибири, на Русской равнине. Наиболее известны уральские месторождения, расположенные в Алапаевском и Режевском районах и приуроченные к глубоким (до 100—200 м) древним карстовым воронкам и котловинам (Гинзбург, 1964; Чикишев, 1964). Образование месторождений железных руд алапаевского типа связано с латеритным выветриванием основных и ультраосновных пород в зоне контакта с карбонатными толщами и выносом окислов железа в карстовые полости и понижения, где карбонатная среда способствовала их выпадению в виде сидерита и гидроокислов железа (Гинзбург, 1964). Месторождения руд алапаевского типа находятся главным образом в Тагил-Магнитогорской и Восточно-Уральской карстовых провинциях (Максимович, Костарев, Быков, 1968), но встречаются и на западном склоне Урала. Руды распространены в континентальных мезозойских отложениях — беликах, которые залегают на закарстованной поверхности каменноугольных, реже девонских и силурийских известняков (Гевирц, 1960; Кротов, 1945). Время образования беликов и связанных с ними железистых руд относится к верхнему мелу (Гинзбург, 1964). Карстовые месторождения окисленных железных руд,

преимущественно в виде бурых железняков, широко распространены на западном склоне Южного и южной части Среднего Урала и в Предуралье (Вахрушев, 1964; Бураков, 1969).

С карстом связаны месторождения железных руд, содержащих никель, кобальт и хром (наиболее крупные месторождения известны в Халиловском и Серовском районах), а также силикатно-никелевые месторождения (уфалейский тип). К карстовым рудам относятся более половины разведанных залежей никелевых руд Режевского района (Гинзбург, 1964; Карасик, 1948; Максимович, Костарев, Быков, 1968; Чикишев, 1964).

В карстовых полостях иногда осаждаются окислы и гидроокислы марганца, покрывая их поверхность пленками и корками пиролюзита и вернадита (Гинзбург, 1964). К такому типу относится месторождение на р. Янцзы вблизи г. Напкина. В СССР интересно Улутеляжское месторождение марганца, расположенное на западном склоне Южного Урала в Башкирии. В предакчагыльское время здесь возникли карстовые провалы, в которые был снесен обогащенный марганцем элювий пород пермского возраста. Мощность переотложенных марганцевых руд в карстовых провалах достигает 20—30 м (Вахрушев, 1964; Максимович, Костарев, Быков, 1968). На Байкале, в Приольхонье и на о. Ольхон марганцевое оруденение, по данным Г. И. Антипова, приурочено к карстовым депрессиям в поверхности архейских мраморов. Возраст карста палеогеновый и четвертичный (Вологодский, 1968). В Присаянье руды марганца связаны с мезо-кайнозойской корой выветривания на карбонатных породах.

Во многих случаях карстовые формы рельефа являются вместилищами для бокситов (Берг, 1937; Белевский, 1956, 1957; Бобров, 1964; Бушинский, 1958, 1964; Лисицина и Пастухова, 1964; Максимович, Костарев, Быков, 1968; Сладкопесцев, 1964; Чикишев, 1964). Карстовые бокситы называют еще известковыми (Берг, 1937), но это название не вполне точно, так как состав карбонатных пород, на которых развиваются карстовые бокситы, «варьирует от чистых известняков до чистых доломитов» (Бушинский, 1964, стр. 55). Положение залежей карстовых бокситов, по свидетельству Г. Берга, почти везде одинаково. «Они залегают обычно на довольно мощном известковом или мергелистом (либо до-

домитовом. Н. Г.) пласте, в который они проникают нижней своей частью, выполняя обычные формы выветривания (карстовые формы. — Н. Г.) известковых поверхностей (трубы, карманы и т. д.)». Сверху они согласно перекрываются известняковыми или глинистыми слоями, но всегда удается установить, что покрывающие пласты значительно моложе, следовательно, постель бокситов долгое время была поверхностью суши.

Таким образом, залежи карстовых бокситов обычно бывают приурочены к поверхности погребенного, или ископаемого, карбонатного карста. Нередко, однако, бокситоносные, заполненные рыхлыми отложениями карстовые полости бывают выражены в современном рельефе в виде депрессий и даже довольно отчетливых, хотя и неглубоких воронок, как это имеет место, например, в юго-западной части Сибирской платформы (Бобров, 1964).

По количеству запасов карстовые бокситы составляют 28% мировых запасов. В СССР, а также и в Китае роль карстовых месторождений еще выше (Бушинский, 1964; Максимович, Костарев, Быков, 1968). Несравненно выше она в странах с господством известняковых нагорий, например в Югославии (Гвоздецкий, 1970).

По вопросу о происхождении бокситов велось очень много дискуссий, в том числе и о происхождении карстовых бокситов. Дискуссионным этот вопрос остается и до настоящего времени.

И. И. Гинзбург (1964) приводит пять теорий, объясняющих причины присутствия бокситов в неровностях карстового рельефа: 1) карстовые понижения заполняются обломочным материалом бокситов, который скатывается или переносится в них водными потоками; 2) бокситы представляют собой нерастворимый остаток от выщелачивания известняков, т. е. терра-росса; 3) в карстовых понижениях Al_2O_3 осаждается из кислых растворов коры выветривания, находящейся вблизи закарстованной поверхности, так как воды в карсте всегда более или менее щелочные (pH 7,5—8,5); 4) в карстовые понижения попадает обломочный материал различных пород, то более, то менее разложившийся, и здесь он доразлагается до свободного глинозема с выносом кремнезема проточными водами или дренируемыми карстом подземными водами; 5) в карстовые понижения сносится вулканический пепел с окружающих мест и здесь разлагается до боксита. Некоторые авторы объясняют образо-

вание бокситов сочетанием нескольких процессов, совершающихся одновременно или последовательно. Дискуссия в основном идет вокруг первых трех теорий, как наиболее распространенных, и четвертой в сочетании с ними.

Вторая теория (гипотеза терра-росса) применялась для объяснения образования карстовых бокситов Центральной и Южной Европы. Важнейшие в Европе месторождения карстовых бокситов находятся во Франции, в департаменте Буш-дю-Рон (название «боксит» происходит от названия местности — Les Beaux). Широко распространены они в классических карстовых областях Югославии (Берг, 1937; Гвоздецкий, 1970; Guide de l'excursion..., 1965), имеются и в разных местах средне-итальянских Апеннин (Берг, 1937). Крупные залежи бокситов находятся в Венгрии в коре выветривания известнякового массива Вертеш.

Еще в начале нынешнего столетия, перед первой мировой войной, М. Киспатик (Kispatic, 1912) произвел детальные исследования карстовых бокситов Хорватии (Югославия) и доказал известное тождество и родство бокситов и терра-росса. О том, что боксит образуется из элювиальных глин, накопившихся в результате растворения известняков «под влиянием содержащих углекислоту вод», писал Г. Берг (1937, стр. 168). На то, что бокситы могут представлять собой результат химической переработки терра-росса, указывал и П. Н. Чирвинский (1950). Для А. Е. Ферсмана (1952), несомненно знакомого с разными теориями образования бокситов, не было никакого сомнения в том, что в Далмации (Югославия) и южной Франции возникновение бокситов связано с процессом выщелачивания известняка и образованием терра-росса.

Тем не менее Г. И. Бушинский (1964) на основании минералогических данных отвергает гипотезу терра-росса. Отвергает он и третью гипотезу — химического влияния карстующихся карбонатных пород на бокситообразование. Он является сторонником первой теории. По его мнению, перенос бокситового материала из коры выветривания происходил временными сильно мутными или грязевыми потоками и этот материал отлагался в виде делювия или пролювия во временных водоемах среди поля карбонатных пород. Отложенный материал подвергался дальнейшей латеритизации с выносом кремнезема (сочетание с четвертой теорией!) и затем

снова мог быть переотложен. Изучавшие североуральские бокситы И. И. Плотников и Е. Д. Миловидов (1961, 1962) также считают, что бокситовый материал был принесен временными потоками, отлагался на суше и в наземных условиях затем подвергался бокситизации. С. И. Бенеславский (1957) бокситы Енисейского края считает делювиальными. Допускается (в более редких случаях) и морской перенос бокситового материала (Максимович, Костарев, Быков, 1968). Источником бокситового материала была кора выветривания латеритного типа, развитая на бескварцевых и малокварцевых алюмосиликатных породах.

На основании изучения карстовых бокситов Казахской складчатой страны и Тургайской синеклизы Н. А. Лисицына и М. В. Пастухова (1964) пришли к выводам о генезисе бокситов, еще более углубляющим соединение первой теории с четвертой. Они указывают на обломочную природу исходного материала (переотложенного в карстовые воронки из коры выветривания) и решающую роль вторичных преобразований в формировании бокситов. Суть этих преобразований сводится к выносу кремнезема и накоплению полуторных окислов железа и алюминия и окиси титана. Таким образом, процесс бокситизации обломочного материала, накопленного в карстовых воронках, близок, по мнению этих исследователей, к процессу латеритизации.

И. И. Гинзбург (1964), по-видимому, справедливо указывает, что споры о происхождении приуроченных к карстовым формам бокситов должны решаться не односторонне, что возможны бокситы как одного, так и другого происхождения, равно как и бокситы смешанного генезиса. Он мотивирует этот вывод тем, что воды в карсте не всегда одинаковы по своему составу и гидродинамическому режиму и они не могут неизменно реагировать на условия выпадения и осаждения тех или иных окислов. Неодинаков также состав химических соединений и глинистых минералов, которые поступают в карст, так же как и их коллоидные и тонкодисперсные формы. Нам представляется, что многое здесь зависит от палеогеографической и геологической обстановки. Вторая теория, очевидно, в основном применима к областям весьма интенсивным выщелачиванием мощных известняковых толщ (холокарста, т. е. полного карста, по И. Цвийичу). При этом мы знаем, что в Южной и Средней Ев-

ропе, для которых отмечалась связь бокситов и терра-россы, еще в неогене условия были тропическими. Вряд ли прав Г. И. Бушинский (1964, стр. 61), указывающий, что терра-росса «не имеет с бокситами ничего общего, кроме одинаковой окраски и сходных условий залегания». Этот вопрос требует дальнейших исследований. Кстати, терра-росса в югославском карсте содержит около 30% полуторных окислов алюминия (Гвоздецкий, 1970).

По условиям залегания различают две группы карстовых бокситовых месторождений — площадную и приконтактовую. Площадные месторождения развиты на более или менее обширных закарстованных площадях — в десятки, сотни, местами и тысячи квадратных километров, среди которых нередко безрудные выступы карбонатных пород. Площади сплошных рудных тел сравнительно невелики. Глубина выполненных бокситом карстовых воронок обычно небольшая — от 4 до 11—16, иногда до 30 м (при диаметре 50—60 м). Форма их разнообразная, нередко приближающаяся к конусу. Крутизна бортов различна, местами они вертикальные или нависающие (Бушинский, 1964, 1967). На востоке Североуральских месторождений боксита вскрыта котловина площадью свыше 2,5 га и с максимальной глубиной 64 м (Плотников, Миловидов, 1961). Бокситовые пласты площадных месторождений подстилаются закарстованными известняками или доломитами, а сверху перекрываются лагунно-морскими или пресноводными отложениями. Сами бокситы, как мы видели (по любой теории), образовались в континентальных условиях.

К группе площадных месторождений бокситов относятся, по Г. И. Бушинскому (1964), рифейские в Восточном Саяне, кембрийские в Приморье, девонские на Урале и в Салаире, каменноугольные на Урале, в Средней Азии и Китае, триасовые и юрские в Средней Азии и Северном Вьетнаме, юрские, меловые и палеогеновые в Центральной и Южной Европе, а также в Турции, неогеновые на островах Ямайка и Гаити. Из всех карстовых месторождений ямайские наиболее крупные (запасы около 600 млн. т), они служат основной сырьевой базой алюминиевой промышленности США и Канады.

Приконтактовые месторождения карстовых бокситов приурочены к закарстованным площадям или карстовым воронкам, которые расположены на контакте, или

вблизи контакта карбонатных пород с диабазами, базальтами, амфиболитами, тлинистыми и хлоритовыми сланцами, т. е. с бескварцевыми и малокварцевыми алюмосиликатными породами, служащими источником глинозема. Бокситы этих месторождений часто залегают в крупных карстовых депрессиях диаметром до 300—500 м, иногда вытянутых и значительно более длинных, глубиной до 100—200 и даже 300 м. В некоторых случаях вместищем бокситоносных отложений служат древние крупные карстовые котловины типа полей до 2—3 км в поперечнике (Бобров, 1964). Приконтактные месторождения характеризуют бокситоносный карст платформенных областей (Бушинский, 1967).

К приконтактным месторождениям относятся месторождения Среднего и Южного Зауралья, Центрального Казахстана, Западной Сибири, Приангарья и Средней Азии. Возраст их варьирует от нижнего триаса до нижнего палеогена (Бушинский, 1964). К этой группе принадлежат и бокситы Енисейского края с прилегающей юго-западной частью Сибирской платформы (Бобров, 1964).

Нужно сказать, что карстовые формы рельефа являлись удобными местами не только для накопления бокситов, но и для их сохранения от последующего размыва.

Широко распространены карстовые фосфориты, залегающие на закарстованной поверхности карбонатных отложений (Бушинский, 1964; Водорезов и др., 1956; Вологодский, 1968; Занин, Ощепков, 1967; Красильникова, 1964; Максимович, 1960; Максимович, Костарев, Быков, 1968; Мульменко, 1956; Чикишев, 1964). Наибольшее практическое значение среди карстовых фосфоритов имеют остаточно-метасоматические фосфориты (Максимович, 1960; Красильникова, 1964), которые образуются при выщелачивании фосфатосодержащих известняков и накапливаются в понижениях закарстованной поверхности. Если, по мнению многих исследователей, как мы видели, для бокситов карстовые понижения являются своего рода ловушками, где боксит накапливается и сохраняется от дальнейшего размыва, то карстовые фосфориты генетически очень тесно связаны с карстовыми процессами, поскольку источник фосфора заключен в подвергающихся выщелачиванию карстующихся породах. Процесс образования карстовых фосфоритов аналогичен в этом смысле формированию бокситовых место-

рождений по второй теории их образования. Не подлежит сомнению и химическая природа осаждения фосфатов — они отлагались на карбонатных породах (или вблизи них) при нейтрализации кислых вод.

В СССР первое крупное промышленное месторождение карстовых фосфоритов — Ашинское в Предуралье (Башкирия) — было открыто в 1953 г. Фосфориты выполняют здесь многочисленные углубления, карманы и трещины в нижнепермских известняках, содержащих от 1 до 4% P_2O_5 . Затем были найдены Белкинское месторождение в Горной Шории, Сейбинское в Восточном Саяне, Сарминское в Западном Прибайкалье и некоторые другие месторождения (Водорезов и др., 1956; Бушинский, 1964, 1967; Красильникова, 1964).

По форме залежей фосфориты, связанные с погребенными поверхностными карстовыми формами, делятся на два основных типа: 1) фосфориты, занимающие закарстованные площади фосфатизированных карбонатных пород с относительно мелкими воронками и карманами (Ашинское месторождение); 2) фосфориты, выполняющие глубокие карстовые воронки (сибирские месторождения — Сарминское, Сейбинское, Белкинское. Красильникова, 1964).

Карстовые фосфориты образуются и в подземных карстовых полостях, выпадая в них в виде сталактитов и других капельных и натечных форм и в конце концов целиком заполняя эти пустоты, как это наблюдается на месторождениях Теннесси и Флориды в США, или замещают карбонатные породы (Гинзбург, 1964). Фосфоритовые месторождения карстового типа во Флориде дают около 30% мировой добычи фосфора (Бушинский, 1967).

С карстовыми формами связаны некоторые россыпные месторождения золота, платины и алмазов. Они образовались в результате размыва и переотложения в карстовых депрессиях аллювиальных пород, содержащих россыпи редких металлов и алмазов. Обогащение россыпи ценными минералами происходит не только при переотложении, но и за счет выноса глинистых частиц поверхностными и подземными карстовыми водами. Наибольшая концентрация металлов и алмазов обычно наблюдается в глубоких частях плотика. Карстовые россыпные месторождения золота довольно широко распространены во многих районах СССР, но особенно многочисленны на Урале. Здесь же известны карстовые рос-

сыпные месторождения алмазов и платины (Блинов, 1960; Вахрушев, 1964; Гинзбург, 1964; Максимович, Костарев, Быков, 1968; Степанов, 1970; Чикишев, 1964). Одно из месторождений россыпных алмазов в южной Якутии приурочено к крупной карстовой воронке (до 500 м шириной и 30 м глубиной), выработанной в юрском периоде в карбонатных породах ордовика. В Байкало-Патомском нагорье с карстовыми воронками и котловинами связаны месторождения россыпного золота. В Восточном Саяне в бассейне р. Чибихек россыпное золото концентрируется не только в карстовых воронках, но и в карровых углублениях (Мирзаев, 1965).

Концентрация в карстовых воронках и полостях золота, а также алмазов наблюдается в ряде месторождений Африки (Ферсман, 1952).

К древним карстовым формам нередко приурочены месторождения высококачественных огнеупорных, кислотоупорных и керамических глин, каолинов, а также стекольных и формовочных песков. Они образовались в результате размыва водными потоками и переотложения в карстовых полостях элювиально-делювиальных пород либо накопления в карстовых депрессиях остаточного элювия. Глины и пески обычно залегают в виде линз, которые могут достигать большой мощности и значительного горизонтального протяжения. Карстовые месторождения каолинов, глин и песков распространены во многих районах СССР, в частности на Урале, в Приангарье и Прибайкалье, затем в южной Польше (на Краковско-Ченстоховской возвышенности), в Чехословакии (Моравский Карст) и других странах (Вахрушев, 1964; Вологодский, 1965, 1968; Гвоздецкий, 1954; Гинзбург, 1964; Максимович, Костарев, Быков, 1968; Меннер и Раабен, 1964; Чикишев, 1964). На Урале, в Прибайкалье и других районах известны карстовые месторождения минеральных красок (Вахрушев, 1964; Вологодский, 1968). Мотское месторождение минеральных красок (охристые глины) на водоразделе Иркутка и Олхи приурочено к доломитам нижнего кембрия.

С карстом связаны месторождения барита и целестина, покрывающих в виде кор стены карстовых пещер и полостей, боратов, заполняющих углубления и пустоты в гипсовых шляпах, которые образуются как нерастворимый остаток при выщелачивании калийных и натриевых солей, самородной серы и, наконец, селитры, источником

накопления которой во многих пещерах является помест летучих мышей (Ферсман, 1952; Гинзбург, 1964; Станкевич, 1969; Хурсик, Шимановский, 1969; Дзенс-Литовский, 1943; Федоровский, 1933). Селитра добывалась в знаменитой Мамонтовой пещере и в других пещерах штата Кентукки в США (Витковский, 1901).

Исключительно большое практическое значение приобрело изучение древнего глубинного карста в связи с приуроченностью к нему залежей нефти и газа. В середине 60-х годов добыча нефти из карбонатных (нередко сильно закарстованных) отложений превышала 60% мировой добычи. Половина запасов газа крупнейших месторождений капиталистических стран также приурочена к карбонатным отложениям (Максимович, 1964; Максимович, Енцов, 1966). Долгое время исследователи и эксплуатационники недооценивали роль карста в образовании продуктивных карбонатных коллекторов и не связывали залежи нефти с карстовыми пустотами, достигающими иногда весьма внушительных размеров. Но сравнительно недавно буровые и геофизические исследования показали сильную трещиноватость и кавернозность залегающих на глубине карбонатных пород и было собрано много данных, подтверждающих связь крупных нефтяных залежей с карстовыми формами. Например, при фонтанировании одной из скважин на нефтяном месторождении Хобба в США был выброшен сталактит (Рассел, 1958). На Ромашкинском месторождении в северной Башкирии в известняках намульского и визейского ярусов нижнего карбона обнаружена многоярусная система крупных карстовых полостей. В силурийских известняках месторождения Доллархайд (западный Техас, США) буровыми скважинами обнаружили полость площадью более 2,6 кв. км и высотой до 5 м, заполненную нефтью. Возраст этой полости, очевидно, допермский (Леворсен, 1958).

В этой связи в нефтяной геологии приобрело особое значение изучение вторичной пористости, точнее, меганористости карбонатных пород, происхождение которой связано с процессами растворения (Успенская, 1950). В специальной литературе делаются прогнозы, что в недалеком будущем добыча нефти из трещинных и кавернозных коллекторов будет возрастать.

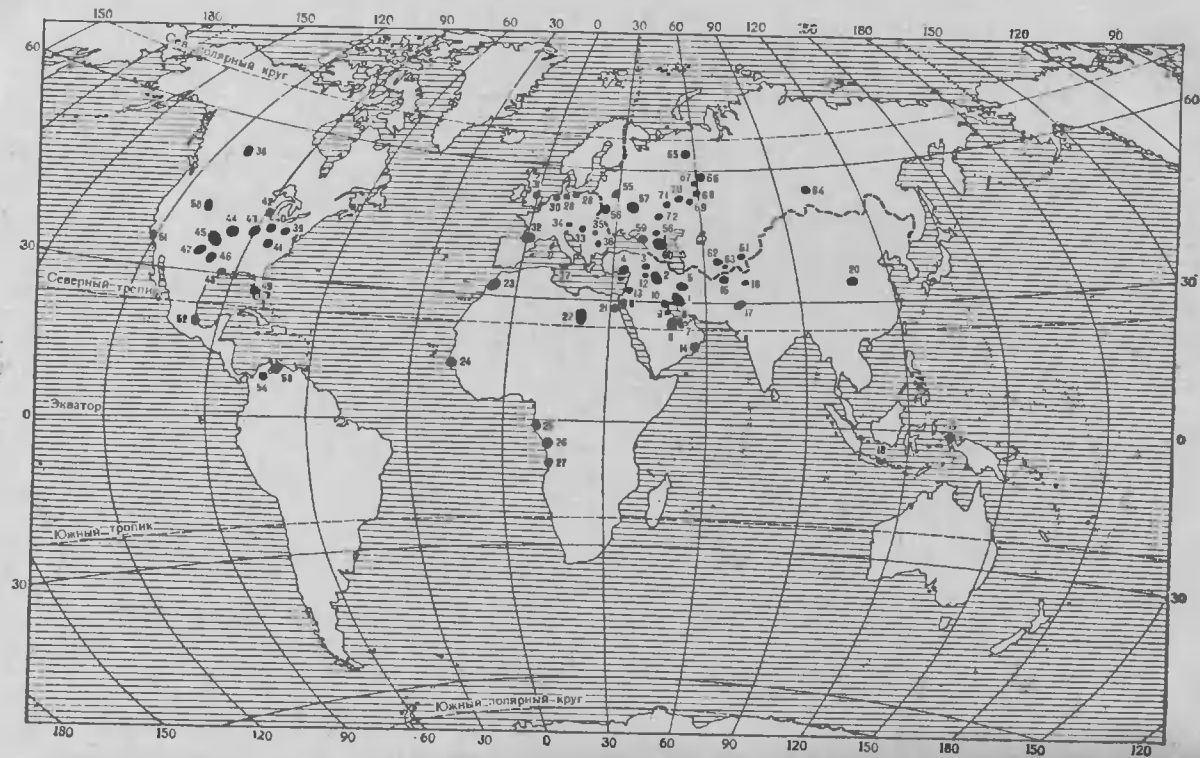
Месторождения нефти и газа, связанные с карбонатными коллекторами, весьма многочисленны в Северной

Америке, особенно в США и Мексике. Интересно здесь месторождение, открытое сравнительно недавно в западном Техасе, а также месторождения в районе Тампико (Мексика). Есть месторождения на севере Южной Америки — в Колумбии и Венесуэле. Много месторождений в Западной Европе и Передней Азии, в том числе одни из крупнейших месторождений мира Ага-Джари и Масджид-и-Сулейман в юго-западном Иране. Есть месторождения в Афганистане, Пакистане, Китае, в Индонезии, а также в Северной и Западной Африке (Максимович, Енцов, 1966; см. рис. 44).

В СССР продуктивные глубинные кавернозные зоны и палеокарстовые рифовые коллекторы нефти и газа широко распространены в восточной части Русской равнины (в карбонатных отложениях палеозоя Урало-Волжской нефтяной провинции), в Прикарпатье (в верхней части карбонатных отложений юры — газовое месторождение Рудки) и на восточной Украине (Шебелинское месторождение), в карбонатных породах верхнего мела Северного Кавказа, в ряде районов Средней Азии (Дахнов и Лебедев, 1964; Максимович, 1964; Максимович, Енцов, 1966). В Восточной Сибири бурение на нефть и газ глубоких скважин на территории Иркутского амфитеатра свидетельствует, по данным Г. П. Вологодского, о том, что нефть и газ в карбонатных толщах нижнего кембрия в большинстве случаев связаны с карстовыми коллекторами.

Палеокарстовым коллекторам нефти и газа стали уделять особое внимание после двух всесоюзных совещаний по трещинным коллекторам нефти и газа (1960 и 1962 гг.). Тем не менее совсем недавно А. В. Ступишин (1967) отмечал малое количество литературы о глубинном карсте, с которым связаны нефтяные месторождения СССР, выразив уверенность в появлении новых работ. Таковые действительно появились. Они имеют как общий (Быков, 1967; Максимович, Быков, 1969 а, б), региональный (Максимович, Костарев, Быков, 1968; Енцов, 1967; Енцов, Щербина, 1969; Чернов, Быков, 1969), так и методический характер (Армишев, 1969; Быков, 1970 а, б).

Изучение глубинного карста нефтяных районов представляет интерес также с точки зрения использования подземных полостей для хранения нефти и нефтяных продуктов, а также как объектов для сбрасывания в



больших объемах промышленных стоков нефтедобывающих и нефтехимических предприятий (Лерман, Усольцев, 1969).

С карстовыми формами связаны месторождения бурых углей. На территории СССР они распространены довольно широко. Только в Предуральской депрессии и в восточной части Уфимского плато известно 58 бурогольных месторождений (Вахрушев, 1964). В Ишим-баевском Предуралье месторождения бурого угля находятся в карстовых воронках хемогенной толщи кунгурского яруса перми. Угли образуют подчиненные тела внутри глинистых и галечниково-песчаных толщ миоцена, выполняющих воронки (Меннер и Раабен, 1964). В более южной части Предуралья бурые угли приурочены к верхнетриасовым, среднеюрским, олигоцен-миоценовым и плиоценовым отложениям, которые выполняют карсто-

Рис. 44. Распределение месторождений нефти и газа, связанных с карбонатным коллекторами, по Г. А. Максимовичу и И. И. Енцову.

1 — Ага-Джари, юго-западный Иран, 2 — Киркук, северный Ирак, 3 — Диярбакыр, юго-восточная Турция, 4 — Балгардар, юго-западная Турция, 5 — Алборц, центральный Иран, 6 — Гхавтр, Саудовская Аравия, 7 — Духан, п-ов Катар, 8 — Бахрейн, о. Бахрейн, 9 — Вафра, Нейтральная зона, 10 — Зубаир, южный Ирак, 11 — Судр, Египет, 12 — Хамзах, Сирия, 13 — Неджеб, Израиль, 14 — Уим-Шайф, Трусальское побережье, 15 — Етымтаг, Афганистан, 16 — Балкассар, Пакистан, 17 — Суи, Пакистан, 18 — месторождения о. Ява, 19 — Кламоно, Индонезия, 20 — Шинюгу, Китай, 21 — Белаим, Египет, 22 — Целтен, Ливия, 23 — Харнша, Марокко, 24 — Дьям Ньяде, Сенегал, 25 — Кап-Лопес, Габон, 26 — Пуант-Эндиен, Конго (Бразавиль), 27 — Тобна, Ангола, 28 — Райкенхаге, ГДР, 29 — Хейде, ФРГ, 30 — месторождения Нидерланд, 31 — Эскдейл, Великобритания, 32 — Лак, Франция, 33 — Надлеидель, Венгрия, 34 — месторождения Австрия, 35 — Хирлаеш, Румыния, 36 — Тюленевское, Болгария, 37 — Рагуза, Италия, 38 — Ледюк, Канада. Месторождения США: 39 — Биг Синкинг, Аппалачская впадина, 40 — месторождения Лима Индианы, 41 — месторождения Кемберлендской седловины, 42 — Лайма, Мичиганский басс., 43 — Сэлем, Восточный внутренний басс., 44 — Хьюгтон Западный внутренний басс., 45 — Пенхендл, провинц. Вичита-Амарилло, 46 — Рэнджер, свод Бенд, 47 — Ейтс, Пермский басс., 48 — Персолл, побережье Мексиканского зал., 49 — Саннленд, Флорида, 50 — Суинпрас Арч, Скалистые горы, 51 — месторождения Тихоокеанского побер., 52 — Поса-Рика, Мексика, 53 — Ла-Пас, Венесуэла, 54 — Тибу, Колумбия. Месторождения СССР: 55 — Речное, Белоруссия, 56 — Рудки, Западная Украина, 57 — Шелбиносское, вост. Украина, 58 — Прасковейское, Ставропольский край, 59 — Зыбза, Краснодарский край, 60 — Карабулак-Ачалуки, Чечено-Ингушская АССР, 61 — Шор-Су, Ферганская впад., 62 — Мамаджургаты, Бухаро-Хивинская депресс., 63 — Кичик-Бель, Таджикская депресс., 64 — Марковское, Вост. Сибирь, 65 — Западно-Тэбукское, Коми, АССР, 66 — Осинское, Пермск. обл., 67 — Шугуровское, ТАССР, 68 — Канчуринское, БАССР, 69 — Могутовское, Оренбургск. обл., 70 — Кулешовское, Куйбышевск. обл., 71 — Соколовогорское, Саратовск. обл., 72 — Бахметьевское, Волгоградск. обл.

вые полости, возникшие над соляными структурами герцинского краевого прогиба (Хоментовский, 1962). Промышленной является олигоцен-миоценовая угленосность. Мощности угольных залежей до 100 м и более (Максимович, Костарев, Быков, 1968; Максимович, Тюрина, 1969).

Месторождения бурого угля, залегающие в карстовых понижениях, открыты в Днепровско-Донецкой впадине. Ново-Дмитровское и другие буроугольные месторождения северо-западной окраины Донбасса приурочены к карстовым впадинам в толще девонской каменной соли (Максимович, Тюрина, 1969, 1970).

В третичном угольном бассейне на юге ГДР наблюдается проседание угленосных пород в карстовые воронки и западины и выполнение карстовых западин угленосными породами. Карстовые явления там связаны с гипсоносными толщами верхнего цехштейна (Hundt, 1950). Небольшие залежи бурого угля отмечены в карстовых воронках США (Максимович, Тюрина, 1970).

Недавно считали, что с карстовыми впадинами связан лишь бурый уголь. Однако в северо-западных районах Башкирии на глубине 1250—1450 м имеются залежи каменных углей бобриковского горизонта в эрозионно-карстовых и карстовых впадинах в турнейских известняках. Угли эти близки к длиннопламенным, длиннопламенно-газовым и газовым углям Донбасса (Максимович, Тюрина, 1970).

В карстовых впадинах образуются также залежи торфа, иногда со значительными запасами (Максимович, Костарев, Быков, 1968; Максимович, Тюрина, 1970).

Своеобразным полезным ископаемым являются минеральные воды. В динамике минеральных вод, в питании и режиме минеральных источников часто очень существенную роль играют карстовые явления. Это установлено, например, для многих районов Кавказа (Огильви, 1925; Овчинников, 1947 а, б, 1956; Гвоздецкий, 1964). Кроме того, многие компоненты, и часто основные, минерализации вод являются продуктами выщелачивания карстующихся пород, т. е. минеральные воды и генетически могут быть связаны с карстом. Такая связь также характерна для многих минеральных источников Кавказа. Например, у разнообразных минеральных вод курортов знаменитой Минераловодской группы Северного Кавказа, включая кисловодский «нарзан» и ессентукские

источники, только углекислый газ имеет глубинное происхождение и связан с поствулканическими и метаморфическими процессами, являясь, следовательно, ювенильным компонентом. Сама же минерализация обусловлена процессами выщелачивания горных пород, в особенности известняковых, доломитовых и гипсоносных карстующихся толщ. Тамисские серные источники в долине Ардона, как и ряд других, аналогичных им, на северном склоне Центрального Кавказа, произошли за счет выщелачивания гипса и восстановления сульфатов под воздействием на них десульфурующих бактерий ($\text{CaSO}_4 + 2\text{C} = \text{CaS} + 2\text{CO}_2$; $\text{CaS} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{S}$), т. е. непосредственно обусловлены карстовым процессом в гипсах.

С карстом связаны также минеральные воды Приуральской, Предуральской, Западно-Уральской и в малой степени Восточно-Уральской карстовых провинций (Максимович, Костарев, Быков, 1968; Максимович, Шестов, Шурубор, 1968; Чикишев, 1964; Шестов, Шиляева, 1969). В карстовых районах Венгрии (курорт Таполца близ г. Мишкольца) и Чехословакии (Теплице над Бечвой) имеются лечебные минеральные источники (Гвоздецкий, 1970). С закарстованными карбонатными, сульфатными и соляными породами связан целый ряд типов минеральных вод в платформенных областях Европейской части СССР и США (Максимович, Шестов, Шурубор, 1969), на границе Русской платформы и Предкарпатского краевого прогиба, источники карпатского курорта Трускавец и др. (Овчинников, 1956).

Другие стороны практического значения карста

Водоснабжение

Чтобы уяснить громадную роль карста и карстовых вод в водоснабжении, следует иметь в виду три главных момента: 1) значение подземных вод в водоснабжении возрастает в связи с загрязнением в промышленных районах поверхностных вод; 2) карстующиеся породы залегают на громадных пространствах суши земного шара (см. Введение), в СССР до 40% площади (по данным Г. А. Максимовича, 1962, 1968) занято обнаженными и погребенными карстующимися породами; 3) эксплуатационные запасы карстовых и трещинно-карстовых вод в карбонатных породах намного превышают запасы подземных вод терригенных, метаморфических и магматических водоносных комплексов. В Пермской области, например, площадь распространения терригенных пород более чем вдвое превышает площадь, занятую карбонатными породами, а эксплуатационные ресурсы карстовых вод карбонатных толщ в 2 раза выше ресурсов вод толщ терригенных (Шимановская, Шимановский, 1970).

Следующая таблица (№ 3), составленная также для Пермской области (Шимановский, Шимановская, Крутов, 1969), наглядно показывает насколько карбонатные комплексы водообильнее остальных.

На Урале развитие промышленности и в связи с нею возникновение новых городов и рост старых населенных пунктов наряду с загрязнением рек промышленными стоками сильно обострило проблему водоснабжения (Чикишев, 1964; Шелковская, 1970). В решении этой проблемы большая роль должна принадлежать ресурсам карстовых вод. При этом те самые карстовые воды, которые создают большие (хотя и преодолимые) трудности в разработке месторождений полезных ископаемых (в Кизеловском угольном бассейне, на Северо-Уральских

Водоносные комплексы	Модуль эксплуатационных запасов подземных вод, л/сек с 1 кв. км.	
	Предуралье	Горноскладчатый Урал
Карбонатные	0,72—0,8	0,5—6,6
Терригенные	0,2—0,93	0,09—0,65
Вулканогенно-метаморфические	—	0,03—0,6
Интрузивные	—	0,03—0,63

бокситовых рудниках и др.), играют и весьма положительную роль, поскольку они используются для водоснабжения городов и поселков, расположенных в районе шахт и рудников, а также и самих промышленных предприятий. Особенно важны ресурсы карстовых вод для водоснабжения южных промышленных районов Урала, относящихся к степной зоне с недостаточным увлажнением и слабо развитой речной сетью (Шелковская, 1970).

Водоснабжение карстовыми водами осуществляется в очень многих районах Русской равнины: в Эстонии, Ленинградской области, включая сам Ленинград (Алтухов и Фейгин, 1896), в Белоруссии и на Украине (Максимович, 1969), в центральных областях и Среднем Поволжье (Гвоздецкий и Спиридонов, 1958; Васильев, 1966; Ступишин, 1967 и др.).

А. С. Козменко (1931, 1932, 1953) показал положительную гидрогеологическую роль карста, изучая один из районов лесостепной физико-географической провинции Среднерусской возвышенности (Орловская обл.). Карстовые провалы и воронки, расположенные здесь главным образом в облесенных верховьях балок (лощинах), поглощают талые снеговые воды и воды летних и осенних паводков. Благодаря этому пополняется водоносный горизонт карбонатных пород верхнего девона. Он имеет исключительно большое значение в питании рек района и может служить важнейшим источником водоснабжения при помощи колодцев и буровых скважин. Н. В. Феденко (1967) в этом же и соседних районах предлагает произвести расчистку водопоглощающих воронок и понор, что, по его мнению, сможет увеличить

приток поверхностных вод в водоносные закарстованные горизонты в 2 раза.

Карстовые воды играют весьма важную роль в водоснабжении Крыма (Иванов, 1964), особенно курортов Южного берега, для чего созданы водохранилища в истоках Бельбека, каптированы карстовые источники на этом участке северного склона Яйлы и сооружен Ялтинский гидротуннель, направивший воду в зону курортов Южного берега.

За счет карстовых источников и подземных карстовых вод снабжаются водой многие города и курорты Кавказа как в полосе Черноморского побережья, так и на северном склоне Большого Кавказа. Кисловодск, например, получает воду из мощных карстовых источников Теплушка, Находка и др., дренирующих водоносный горизонт в валанжинских известняках. В водоснабжении курортов района Кавказских Минеральных Вод большую роль играют и воды верхнемеловых известняков к северу от уступа Бургустано-Джинальской куэсты (Гвоздецкий, 1964).

Карстовые воды (трещинно-карстовые и порово-карстовые) имеют большое значение в водоснабжении населенных пунктов и промышленных предприятий равнинных и мелкосопочных территорий Казахстана, бедных наземными пресными водами. Особенно важны в этом отношении окремненные известняки верхнего девона и нижнего карбона, скважность и водопроницаемость которых, а также стойкость по отношению к выветриванию и выщелачиванию обусловлены древними (палеозойского возраста) карстовыми процессами, что доказано на примере Экибастузского бассейна и других районов северо-восточного Казахстана (Паукер, 1962). Велика роль карстовых вод и источников в водоснабжении горных районов Средней Азии, особенно в полосе засушливых предгорий и подножий горных систем.

В Приангарском промышленном районе Восточной Сибири карстовые воды являются важным ресурсом водоснабжения, и вместе с тем карст вносит там большую сложность в условия водоснабжения, лишая многие участки поверхностных вод и повышая минерализацию подземных, особенно на площадях распространения гипсоносных пород (Вологодский, 1965).

Исключительно большую роль играют карстовые воды в водоснабжении городов, селений и промышленных

предприятий Югославии, ряда районов Чехословакии, Венгрии, Болгарии (Гвоздецкий, 1970), а также Румынии, Австрии, Швейцарии, Франции, Италии, Испании, Португалии, Бельгии, Великобритании, Ирландии, США и многих других стран, включая области тропического пояса, например Юкатан (Гвоздецкий и Машбиц, 1958). К источникам карстовых вод часто бывают приурочены населенные пункты, во многих странах они играют большую роль в распределении населения (Максимович, 1969).

Использование для водоснабжения карстовых источников имеет свои специфические особенности. Иногда эксплуатация карстовых источников бывает затруднена из-за неравномерности их режима, периодического замутнения, возможности бактериального заражения. Помутнение карстовых источников особенно характерно для покрытого карбонатного (известнякового и доломитового) карста. Оно происходит при таянии снега или выпадении дождей в области питания, т. е. в местах расположения водопоглощающих карстовых форм. Большую роль играют ручьи, поглощаемые понорами слепых карстовых балок и оврагов. Они размывают рыхлые отложения, которыми прикрыты карбонатные карстующиеся толщи. Этими ручьями муть заносится с поверхности в карстовые каналы, кроме того, она смывается со стенок карстовых каналов вздувшимися подземными потоками. Мероприятия по борьбе с замутнением источников должны быть направлены на ослабление эрозионной деятельности поверхностных ручьев (залужение русел и бортов слепых балок, а иногда и бетонирование).

Особенности циркуляции подземных вод в карстовых массивах во многих случаях могут привести к бактериальному заражению источников (Козменко, 1931; Гвоздецкий, 1954; Martel, 1919, 1921), что заставляет ставить вопрос о необходимости ряда санитарных мероприятий. В участках питания наиболее важных карстовых источников должен запрещаться выпас скота (можно эти участки использовать в качестве сенокосов). Следует категорически запрещать пользоваться карстовыми колодцами и воронками в качестве скотомогильников. Проведение соответствующих санитарных мер особенно важно в областях питания таких водоносных горизонтов, с которыми имеют связь минеральные источники (Гвоздецкий, 1964).

Как видно было из текста главы VII, карст оказывает большое влияние на режим стока рек. Поэтому при гидрологических расчетах очень важно иметь верное представление о распространении карста. Реки, питающиеся карстовыми водами, — это важный источник водоснабжения.

Многочисленные карстовые озера также часто используются для водоснабжения и водопоя скота. Например, карстовые озера Челябинской области обеспечивают водой близлежащие населенные пункты (Шелковская, 1968). В Среднем Поволжье (Марийская АССР, Горьковская обл., Татарская АССР), там, где есть значительные и глубокие карстовые озера, питающиеся подземными источниками, «распространен особый тип водораздельного озерного поселения» (Ступишин, 1967, стр. 29). Во многих случаях карстовые озера играют существенную роль в развитии рыбного хозяйства (см., например, Васильев, 1966). Но, очевидно, в этом отношении их можно использовать более эффективно.

Лесозэксплуатация и лесомелиорация в карстовых районах

С наличием карста нельзя не считаться при проведении лесозэксплуатационных мероприятий. Хищническое сведение лесов в горном карстовом районе может привести к превращению лесистых горных склонов и плато в голые каменистые пустыни либо в пустыри с чахлым кустарником. В широких размерах это имело место в карстовых районах Средиземноморья (Воейков, 1894; Гвоздецкий, 1970; Davis, 1930), но в какой-то степени также в Горном Крыму и на южном склоне западной половины Большого Кавказа (окрестности Сухуми в Абхазии, Рачинский хребет). В главе IV говорилось о разных аспектах влияния растительности, в том числе лесной, на развитие карста и о возникновении голого известнякового карста при сведении лесов в горных и возвышенных районах. Говорилось также о естественном возобновлении древесно-кустарниковой растительности в районах голого карста Адриатического побережья, если скот, особенно козы, не губят молодой подрост. В ряде карстовых районов Югославии широко осуществляются искусственные посадки деревьев (Гвоздецкий, 1970). У

нас значительное внимание уделяется лесомелиорации яйлинских плато Горного Крыма (Ена, 1958, 1965). Однако облесение отдельных участков плато ведется еще недостаточно и не сопровождается организацией лугов (Иванов, 1964).

В равнинных платформенных условиях покрытого карста сведение лесов приводит к увеличению поверхностного стока за счет подземного и в связи с этим к порче луговых и пахотных угодий в стоковых ложбинах, которые заносятся продуктами усиливающейся эрозии. Карстовые воронки в стоковых ложбинах заиливаются, что препятствует питанию подземных водонесных горизонтов и также способствует потере воды из карстового района за счет поверхностного стока. Лес задерживал поверхностный сток, увеличивал просачивание воды в грунт. Детальные исследования, в том числе стационарные, в одном из районов покрытого известнякового карста физико-географической провинции Среднерусской возвышенности, о которых упоминалось в предыдущем разделе и в главах I и II, привели к выводу о целесообразности не только сохранения лесов, но и искусственного облесения карстовых участков (Козменко, 1931, 1932, 1953). Сведение лесов резко отрицательно сказывается на гидрологическом режиме карстовых районов Башкирии. Необходимы меры по сохранению здесь древесных насаждений и расширению их площадей на малоценных сильно закарстованных участках, в частности увеличения площадей под липовыми лесами, что содействовало бы и развитию пчеловодства (Кудряшов, 1964).

Следовательно, и в горах, и на равнинах лесомелиорации в карсте препятствуют развитию вредных геоморфологических процессов и улучшают гидрологический режим, приближая его к естественным условиям, которые существовали до вмешательства человека со своей хозяйственной деятельностью.

Карст и сельскохозяйственное использование земель

Разнообразно значение карста в сельскохозяйственном использовании территорий. Для Русской равнины оно показано на примерах Нечерноземного Центра, Тата-

рии и Башкирии (Смирнова, 1964; Васильев, 1966; Кудряшов, 1964). В районах с избыточным увлажнением дренаж карстом плоских поверхностей является положительным фактором, так как иначе эти поверхности могли быть заболочены и как сельскохозяйственные (и лесные) угодья представлять меньшую ценность (Гвоздецкий, 1954, стр. 71). В районах Восточной Сибири, по данным Г. П. Вологодского (1965, 1968) и других исследователей, с карстом связаны деградация вечной мерзлоты, осушение болот и местами формирование степных ландшафтов, что в условиях таежных сибирских просторов в целом благоприятствует сельскохозяйственному освоению территории, хотя иногда приводит к иссушению почвы, возникновению засух и затруднению водоснабжения из-за безводия долин и глубокого залегания грунтовых вод. Во многих же других случаях карст является для сельского хозяйства, безусловно, отрицательным фактором.

В главе XI говорилось об иссушающем влиянии карста на территориях с недостаточным увлажнением. В степных районах СССР, например в Челябинской области, оно вызывает обезвоживание посевных площадей (Шелковская, 1966).

Сельскохозяйственное освоение карстовых районов часто лимитируется разреженностью гидрографической сети — отсутствием на больших пространствах рек и ручьев, а также большой глубиной залегания грунтовых вод, затрудняющей их использование для водоснабжения с помощью колодцев. Поэтому многие карстовые районы на хорошо освоенной территории Русской равнины выделяются слабой распаханностью и заселенностью и большой лесистостью в сравнении с соседними районами (Смирнова, 1964). Примером этому может служить Ковровское плато (Гвоздецкий и Спиридонов, 1958). Слабой земледельческой освоенности, а потому большей облесенности в пределах лесной зоны Русской равнины способствует местами и густота расположения, т. е. большая плотность, карстовых воронок, являющихся механическим препятствием для распашки земель. Это наблюдается на юге Ивановской области (там же; Смирнова, 1964), в районах мелового карста Брянской области (Гвоздецкий, Смирнова, Цесельчук, 1960), на восточной окраине Русской равнины и в других местах интенсивного развития карбонатного и в осо-

бенности гипсового карста. Непригодность для земледелия сильно закарстованных участков отмечена в литературе для районов Среднерусской возвышенности, Башкирии, Пинего-Кулойского района и др. (Козменко, 1953; Кудряшов, 1964; Якушова, 1949).

Большое количество карстовых провалов в ряде районов Татарии «представляет немалое препятствие при механизированной распашке земель и уборке урожая» (Васильев, 1966, стр. 99). В Башкирии в районах интенсивно развивающегося гипсового карста наблюдались провалы на полях «во время прохождения тяжелых почвообрабатывающих и уборочных машин». В Башкирской АССР, как и в соседней Татарии, бывали случаи «бесследного ухода трактора в землю. Случаев частичного провала тракторов много. Они сопровождаются обычно поломкой деталей машин и длительным простоем в связи с извлечением их из провала» (Кудряшов, 1964, стр. 179). На правом берегу Оки, в окрестностях г. Касимова, «карстовые воронки, ванны и слепые балки... осложняют сельскохозяйственное использование территории, мешают пахоте. Одиночные воронки опахиваются кругом, скопления же их заставляют оставлять промежутки между полями. Возле селений они используются как выгоны, а в глубине массивов полей практически не используются, зарастают ивняком...» (Гвоздецкий и Шматков, 1966, стр. 75). Мешают распашке земель карстовые воронки, сложные ванны, западины на Ковровском плато (рис. 45) и в приокских карстовых районах (Гвоздецкий, Спиридонов, 1971).

Карстовые формы — воронки, ванны и т. п. — играют существенную роль в эрозии почв. К ним часто направляются рассекающие поля овраги, в них с полей смываются питательные вещества почвы, которые могут бесследно уноситься через поноры на дне воронок. В покрытом карсте средней полосы Русской равнины наибольшую неприятность для земледелия представляют именно слепые балки, так как «в них в большей степени, чем в воронки, лишены эрозионных отвершков, смываются частицы почвы» (Гвоздецкий и Шматков, 1966, стр. 75). В Башкирии карстовые воронки «усиливают смыв плодородного почвенного слоя... способствуют выносу питательных веществ через поноры и иссушению почвы. Это ведет к понижению плодородия почв» (Кудряшов, 1964, стр. 179). Вблизи воронок посевы бывают



Р и с. 45. Карстовая воронка на Ковровском плато. Воронка расположена на поле и ее приходится кругом опаживать

Фото Н. А. Гвоздецкого

обычно разреженными и низкорослыми, с худшим качеством зерна.

Для карстовых районов Татарии также отмечается, что «провалы здесь служат как бы резервуарами, куда весенними и ливневыми водами смывается довольно значительное количество питательных веществ почвы. Большая часть почвы бесследно уносится через поноры, а часть остается в самом провале. В связи с этим некоторые карстовые воронки... используются населением под огородные культуры» (Васильев, 1966, стр. 99).

В качестве примера борьбы с эрозией почв в карстовых районах можно привести своеобразную технику земледелия в штате Кентукки в США (Dickens and Brown, 1938). Это пример террасирования крутых склонов довольно крупных карстовых воронок. Между тем в субтропической области Черноморского побережья Кавказа на плато левобережной террасы р. Белой (Хипсты), в окрестностях г. Гудауты, где склоны карстовых воронок и котловин используются под культуру чая, нам

приходилось наблюдать (это было, правда, уже давно, в 1940 г.) неправильную обработку почвы. Борозды между грядками были направлены в некоторых случаях по падению склонов. Такая обработка земли ведет к размыву склонов, к образованию свежих оврагов и рыгвин, и следовательно, к порче ценных земельных участков. Борозды и грядки между ними необходимо проводить примерно на одной высоте вдоль бортов. Закарстованная чайная плантация, конечно, недоступна для современной машинной обработки — здесь мы опять сталкиваемся с карстом, как с механическим препятствием возделыванию сельскохозяйственных культур.

Карст приводит к неблагоприятному для сельского хозяйства иссушению территорий, неблагоприятному в том случае, если они не были избыточно переувлажнены. Причем это касается не только районов с недостаточным увлажнением (Гвоздецкий, 1954, стр. 320; см. также гл. XI), но даже и районов Нечерноземного Центра Русской равнины (Смирнова, 1964; Спиридонов, 1938).

На песках и супесях, непосредственно подстилаемых закарстованными карбонатными породами, «неограниченная инфильтрация атмосферных вод приводит к формированию очень сильно выщелоченных почв, чрезвычайно бедных нужными растениям питательными веществами, а также к резкому сокращению поверхностного стока. Речная сеть крайне редкая, вследствие чего отсутствуют пойменные луга. Водораздельных лугов тоже нет, так как наземный покров скуден и состоит из редких чахлах ксерофитных травянистых растений. Это создает очень существенные трудности в развитии животноводства» (Смирнова, 1964, стр. 176). Сильное иссушение почв карстом, резко ухудшающее условия земледелия, наблюдается в Башкирии. Из-за карста там недостаточно обеспечено водой и животноводство (Кудряшов, 1964).

Серьезным затруднением для животноводства служит безводие пастбищных плато в горных карстовых районах. Горнолуговые почвы на известняках, особенно в условиях карстового рельефа, часто отличаются малой прочностью, легко выбиваются при неумеренном выпасе скота, а затем смываются, что наблюдается, например, в высокогорных карстовых районах Большого Кавказа. Для предотвращения интенсивной эрозии почв на горных лугах карстовых массивов необходимо регламентировать выпас скота.

Особенно неблагоприятны условия для сельского хозяйства в голом карсте, площади развития которого служат лишь малопродуктивными пастбищами, к тому же еще плохо обеспеченными водопоями (правда, в некоторых районах для создания водопоев могут быть использованы карстовые воронки. Чангашвили, 1958). Однако среди бесплодных каменистых пространств голого карста встречаются и весьма плодородные участки, приуроченные к отдельным карстовым формам, например днища польев, котловин и воронок в районах динарского и классического карста Югославии (Гвоздецкий, 1970).

Если материал двух предыдущих глав демонстрирует большое практическое значение инженерно-геологического и геолого-минералогического изучения карста, то из изложенного в настоящей, последней, главе можно сделать вывод о важности географического исследования — всестороннего изучения ландшафтов карстовых областей с выяснением причинных связей между компонентами географического ландшафта.

Литература

Общая ¹

Балков В. А. Влияние карста на сток рек Европейской территории СССР. Л., 1970.

Гвоздецкий Н. А. Карст. Изд. 1-е и 2-е. М., 1950, 1954.

Гвоздецкий Н. А. По зарубежной Европе. М., 1970.

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

Дзенс-Литовский А. И. Соляной карст СССР. Л., 1966.

Зайцев И. К. Вопросы изучения карста СССР. Л.—М., 1940.

Колодяжная А. А. Агрессивность природных вод в карстовых районах Европейской части СССР. М., 1970.

Короткевич Г. В. Соляной карст. Л., 1970.

Крубер А. А. Карстовая область Горного Крыма. М., 1915.

Лаптев Ф. Ф. Агрессивное действие воды на карбонатные породы, гипсы и бетоны. М.—Л., 1939.

Максимович Г. А. Основы карстоведения, т. I и II. Пермь, 1963, 1969.

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

Попов И. В. Инженерная геология. Изд. 2-е, М., 1959.

Родионов Н. В. Карст Европейской части СССР, Урала и Кавказа. М., 1963.

Савиренский Ф. П. Гидрогеология. Изд. 2-е. М.—Л., 1935.

Соколов Д. С. Основные условия развития карста. М., 1962.

Ступишин А. В. Равнинный карст и закономерности его развития на примере Среднего Поволжья. Казань, 1967.

Шукин Н. С. Общая морфология суши, т. I. М.—Л.—Новосибирск, 1933.

Шукин Н. С. Общая геоморфология, т. II. М., 1964.

Corbel J. Les karsts du Nord-Ouest de l'Europe. Lyon, 1957.

Cvijić J. La géographie des terrains calcaires. Beograd, 1960.

Davis W. M. Origin of limestone caverns. Bull. of the Geol. Soc. of Amer., vol. 41, 1930.

Gèze B. La spéléologie scientifique. Paris, 1965.

Kunský J. Kras a jeskyně. Prague, 1950.

Martel E. A. Nouveau traité des eaux souterraines. Paris, 1921.

Trambe F. Traité de spéléologie. Paris, 1952.

К Введению

Барков А. Карст Самарской Луки. «Землеведение», т. 34, 1952, вып. 1—2.

¹ Имеющиеся в различных главах ссылки на эти работы выделены курсивом.

- Барков А. С. Карст Русской равнины. — «Вопр. геогр.», сб. 40. М., 1957.
- Берг Л. К морфологии берегов Аральского моря. — «Ежегодн. по геол. и минер. России», т. V, 1902, вып. 6—7.
- Берг Л. Аральское море. — «Изв. Туркест. отд. Русск. геогр. об-ва», т. V. СПб., 1908.
- Гвоздецкий Н. А. Карст, псевдокарст и суффозия. — Тезисы докл. Пермск. карстов, конф. Пермь, 1947.
- Гвоздецкий Н. А. Проблемы карстования. — «Научн. докл. высш. шк.», геол.-геогр., 1958, № 2.
- Гвоздецкий Н. А. М. В. Ломоносов и вопросы карстования. — «Землеведение», нов. сер., т. 6(46). М., 1963.
- Ермолаев М. М. Геологический и геоморфологический очерк острова Большого Ляховского. — «Тр. СОПС, сер. якутская», вып. 7, «Полярн. геофиз. станц. на о-ве Б. Ляховском», ч. 1, 1932.
- Карстование. — «Труды Пермской карстовой конференции», вып. 1, 1948.
- Кесь А. С. Русло Узбой и его генезис. — «Тр. Ин-та геогр. АН СССР», вып. 30, 1939.
- Козменко А. Провальные, оползневые и эрозионные образования северо-восточной части Новосильского уезда Тульской губ. — «Землеведение», т. 16, 1909, кн. 3.
- (Козменко А. С.) Труды Гидрологического отд. Тульского губ. земства. Гидрологические исследования Тульской губ., район 1. Карты 1-го вып. и пояснит. зап., под ред. А. С. Козменко. М., 1912—1913.
- Козменко А. С. Мелиорация водоносности карстовых районов ИЧО и южной части Московской области. М., 1931.
- Козменко А. С. Лесомелиорация карстовых районов центральной лесостепи. — «Лес и степь», 1953, № 3.
- Макеев П. С. Материалы к геоморфологии долины р. Амударьи между Новым Чарджуем и Дарган-ата. — «Тр. Ин-та физ. геогр. АН СССР», вып. 24. М., 1937.
- Максимович Г. А. Типы карстовых явлений. — «Тезисы докл. Пермск. карст. конф.». Пермь, 1947.
- Нацкий А. Д. Геологический очерк Малого Балхана по исследованиям в 1914 и 1916 годах. — «Матер. по общ. и прикл. геол.», вып. 4. Пг., 1916.
- Нацкий А. Д. Материалы к познанию Каракумского серного месторождения. — «Матер. по общ. и прикл. геол.», вып. 35. Л., 1926.
- Памяти Д. С. Соколова. — «Бюлл. МОИП», отд. геол., 43 (2), 1968.
- Полуэктов В. И. Пещера в леднике. — Сб. «Пещеры», вып. 6 (7). Пермь, 1966.
- Попов И. В. Инженерная геология. М., 1951.
- Попов И. В. Обзор состояния изучения карста в СССР и за границей. — «Общие вопр. карстоведен.». М., 1962.
- Решеткин М. М. О карстовых явлениях в лёссе. — «Вестн. ирригац.», № 10. Ташкент, 1929.
- Саваренский Ф. П. Инженерная геология. Изд. 2. М.—Л., 1939.
- Соколов Д. С. Основные условия развития карста. — «Бюлл. МОИП», т. 26 (2), 1951.
- Соколов Д. С. О содержании и объеме понятия «карст». — «Землеведение», нов. сер., т. 5 (45). М., 1960.

Ступишин А. В. Вопросы терминологии и классификации в карстоведении. — «Учен. зап. Казанск. гос. ун-та», т. 113, кн. 2, геогр., 1953.

Ступишин А. В. Карст Среднего Поволжья. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. д-ра геогр. наук. М., 1956.

Ферсман А. Е. Геохимия пещер. — «Природа», 1952, № 3.

Чикишев А. Г. Исследование карста в СССР в ландшафтно-географическом аспекте. — Сб. «Советск. иссл. карста за 50 лет». М., 1967.

Чирвинский П. И. Типы спелеологического минералообразования и их минеральный состав. — «Минерал. сб. Львовск. геол. об-ва», № 4, 1950.

Щербakov Д. И. Задачи Каракумского геоморфологического отряда АН СССР. — «Матер. Комисс. эксп. иссл.», вып. 20, сер. Туркменск. Каракумы. Резулт. эксп. 1928—1929 гг. Л., 1930.

Sieger R. Karstformen der Gletscher. Geographische Zeitschr. herausg. von Dr. A. Hettner. I Jahrgang, H. 10 u. 11. Leipzig, 1895.

Sweeting M. M. Karst. The Encyclopedia of Geomorphology. New York, Amsterdam, London, 1968.

К главе I

Авенариус В. П. Книга былин. Изд. 3-е. СПб., 1885.

Андреев А. И. Очерки по источниковедению Сибири, XVII в. Л., 1939 (1940).

(Анучин Д. Н.) Д. А. Карст. — «Энциклопедический словарь». Изд. Брокгауз и Ефрон, т. XIV^A, 1895 (стр. 604—606).

Баталин Ф. Большой провал в Пятигорске. — «Отечественные записки», т. 113, 1857 (стр. 191—218).

Баталин Ф. Пятигорский край и Кавказские Минеральные Воды, ч. I. СПб., 1861 (гл. IV. Большой провал в Пятигорске, стр. 129—170).

Богданович К. Геологические исследования и разведочные работы по линии Сибирской ж. д., вып. 2. СПб., 1896 (стр. 132, 145—148).

Боголюбский Н. С. Исследование древностей Минусинского округа и верховьев р. Енисея в 1882 г. — «Изв. Вост.-Сиб. отд. Русск. геогр. об-ва» № 3, 1883 (стр. 13—15).

Варсановьева В. Карстовые явления в северной части Уфимского плоскогорья. — «Землеведение», т. 22, 1915, кн. 4.

Варсановьева В. Карстовые явления в южной части Уфимского плоскогорья. — «Землеведение», т. 23, 1916, кн. 3—4.

Воейков А. Способы воздействия человека на природу. — «Русское обозрение», год 3, т. II, апрель, 1892.

Воейков А. Воздействие человека на природу. — «Землеведение», I, 1894, кн. 2.

Гвоздецкий Н. А. Опыт районирования карста Большого Кавказа. — «Геогр. сб.», I, М.—Л., 1952.

Гвоздецкий Н. А. и Чикишев А. Г. Основные этапы развития советского карстоведения. — «Сов. иссл. карста за 50 лет». М., 1967.

Геннин В. (В. де-Геннин). Описание уральских и сибирских заводов, 1735. М., 1937.

Горбеев Д. И. М. В. Ломоносов и карстоведение. — «Матер. Комис. по изуч. геол. и геогр. карста», информ. сборн. № I, М., 1960.

Дик Н. Е. Деятельность и труды М. В. Ломоносова в области географии. М., 1961.

Зверев В. Н. Геологические исследования в долине р. Ман и притоках р. Алдана. Предв. отчет за 1913 г. — «Изв. Геол. Ком.», т. XXXIII, 1914, № 9.

Зубащенко М. А. Из истории исследования карста Восточно-Европейской равнины. — «Изв. Воронежск. пед. ин-та», т. 10, вып. 2, 1948.

Зябловский Е. Ф. Описание Российской империи для всех состояний. СПб., 1810.

Иванов А. Н. В. Н. Татищев как исследователь карстовых явлений. — «Вопр. истор. естествозн. и техн.», вып. 4, 1957.

Иванов А. Н. Исследование карстовых явлений в России в первой половине XVIII в. — «Учен. зап. Ярослав. пед. ин-та», вып. 20 (30), ч. 2, геогр., 1958 а.

Иванов А. Н. Вопросы геологии в сочинениях И. А. Двигубского и его журнале «Новый магазин». — «Учен. зап. Ярослав. пед. ин-та», вып. 20 (30), ч. 1, геогр., 1958 б.

Иванов А. Н. О первой инструкции по изучению пещер. — «Пещеры», вып. 3. Пермь, 1963.

Историко-географическое описание Пермской губернии, сочиненное в 1800 году. 1801.

Карстоведение. — «Тр. Пермск. карстов. конф.», вып. 1. Пермь, 1948. Предисловие к трудам Пермской карстовой конференции.

Книга Большому чертежу, под ред. К. Н. Сербиной. М.—Л., 1950.

Козменко А. Провальные, оползневые и эрозионные образования северо-восточной части Новосильского уезда Тульской губ. — «Землеведение», 1909, кн. 3.

(Козменко А. С.). Труды Гидрологического отд. Тульского губ. земства. Гидрологические исследования Тульской губ., район 1. Карты 1-го вып. и пояснит. зап. под ред. А. С. Козменко. М., 1912 — 1913.

Косвинцев Е. Н. Кунгурская ледяная пещера (по Миллеру). — «Матер. по иссл. Камск. Приуралья», вып. 1. Пермь, 1928.

Крафт Г. В. Краткое руководство к математической и натуральной географии. СПб., 1739.

(Кропоткин П. А.) Поездка кн. Кропоткина к Байкалу для осмотра пещер на Кадильном мысу. Отчет о действиях Сиб. отд. Русск. геогр. об-ва за 1865 г., СПб., 1866.

Крубер А. О карстовых явлениях в России. — «Землеведение», т. VII, 1900, кн. 4.

Крубер А. А. Гидрография карста. — «Сб. в честь 70-летия проф. Д. Н. Анучина». М., 1913.

Кулибин А. Известковые пещеры на берегу реки Чарыша. — «Горн. журн.», ч. 1, кн. 3. СПб., 1831.

(Лепехин И.) Дневные записки путешествия доктора и Академии наук адъюнкта Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства, 1768 и 1769 году. СПб., 1771.

(Лепехин И.) Продолжение дневных записок путешествия академика и медицины доктора Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства в 1770 году. СПб., 1802.

Ломоносов М. «О слоях земных» и другие работы по геологии. М.—Л., 1949.

Ломоносов М. В. Полное собрание сочинений, т. I, V. М.—Л., 1950.

Лосев А. П. Описание пещер Иркутской губ. — «Тр. Вольного экономич. об-ва», ч. 67. СПб., 1815.

Максимович Г. А. О первом описании ледяных пещер. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 84, 1952, вып. 1.

Максимович Г. А. О первом указании на карстовые пещеры на территории СССР. — «Пещеры», вып. 3. Пермь, 1963.

Миддендорф А. Путешествие на север и восток Сибири, ч. 1, отд. I и II. СПб., 1860—1861.

Мильков Ф. Н. П. И. Рычков. М., 1953 г.

Мильков Ф. Н. П. Рычков и его географические исследования в Заволжье. — «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1953 г., № 4.

Мушкетов Н. В. Физическая геология. Изд. 2-е, ч. 2, СПб., 1888.

Нацкий А. Д. Геологический очерк Малого Балхана по исследованиям в 1914 и 1916 годах. — Геол. Ком. «Матер. по общ. и прикл. геол.», вып. 4. Пг., 1916.

Никифоров Н. К. В верховьях Н. Тунгуски и правых притоков среднего течения Вилюя. Предв. отчет об орг. и исп. работ по иссл. почв. Аз. России в 1914 г. 1916.

Обручев В. А. История геологического исследования Сибири, период первый. Л., 1931.

Оренбургские степи в трудах П. И. Рыčkова, Э. А. Эверсманна, С. С. Неуструева. М., 1949.

Остоя-Ордынский А. Балаганская пещера. — «Сиб. наблюдатель», год V, кн. 5. Томск, 1903.

Паллас П. С. Путешествие по разным местам Российского государства, ч. 1. СПб., 1809; ч. 2, кн. 1, 1770 г., СПб., 1786 г.; ч. 2, кн. 2, 1770 г., СПб., 1786 г.; ч. 3, половина 2, 1772 и 1773 гг. СПб., 1788.

Пармузин Ю. П. Вопросы карстования Сибири. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 86, 1954, вып. 1.

Попов Н. С. Хозяйственное описание Пермской губернии сообразно начертанию СПб. Вольного экономического общества, сочиненное в 1802—1803 годах в г. Перми, ч. 1. Пермь, 1804.

(Рычков Н. П.) Журнал или дневные записки путешествия капитана Рыčkова по разным провинциям Российского государства в 1769 и 1770 гг. СПб., 1770.

(Рычков Н. П.) Продолжение журнала или дневных записок путешествия капитана Рыčkова по разным провинциям Российского государства, 1770 г. СПб., 1772.

Рычков П. И. Описание пещеры, находящейся в Оренбургской губернии при реке Белой... — «Сочинения и переводы к пользе и увеселению служащие», март, 1760 (стр. 195—220).

Самойлович Р. Гипсовые пещеры. — «Изв. Архангельск. об-ва по изуч. Русск. Севера» № 7, 1909.

Сапожников В. В. Пути по Русскому Алтаю. Томск, 1912.

Севергин В. М. Подробный словарь минералогический, содержащий в себе подробное изъяснение всех в минералогии употребительных слов и названий, также все в науке сей učinенныя новейшие открытия. СПб., 1807.

(Севергин В. М.) Опыт минералогического землеописания Российского государства, изданный трудами статского советника академика и кавалера Василия Севергина. СПб., 1809.

Соболев Н. Н. О карстовых явлениях Онежско-Двинского водораздела. — «Изв. Русск. геогр. об-ва», т. 35, 1899 а, вып. 5.

Соболев Н. Н. Геологические наблюдения вдоль Вологодско-Архангельской ж. д. — «Матер. к познан. геол. строен. Росс. импер.», вып. 1. М., 1899 б.

Ступишин А. В. Материалы по истории отечественного карстоведения (феодалный период 1689—1891 гг.). — «Учен. зап. Казанск. ун-та», т. 115, кн. 2, геогр., 1955.

Ступишин А. В. О первой констатации погребенного карста. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 88, 1956 а, вып. 4.

Ступишин А. В. Первые температурные наблюдения в пещерах — Там же, 1956 б.

Ступишин А. В. О первом описании карста Сибири. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 89, 1957, вып. 1.

Ступишин А. В. О вкладе М. В. Ломоносова в карстоведение. — «Вопр. геоморф. Среди. Поволжья», сб. 3. «Учен. зап. Казанск. ун-та», т. 123, кн. 3, 1963.

Татищев В. Н. Избранные труды по географии России. М., 1950.

Торсуев Н. П. К истории исследования карста западной части Европейского Севера. — «Учен. зап. Ленингр. гос. пед. ин-та им. А. И. Герцена», т. 205, 1959.

Тутковский П. Карстовые явления и самобитные артезианские ключи в Волынской губ. Ст. I. Провалы почв на Полесской ж. д. — «Тр. Об-ва исслед. Волыни», т. IV. Житомир, 1911.

Тутковский П. Карстовые явления и самобитные артезианские ключи в Волынской губ. Ст. II. Провалы почвы в прибрежьях рек Стохода, Стири и Горыни. — «Тр. Об-ва исслед. Волыни», т. VIII. Житомир, 1912.

(Фальк И. П.) Записки путешествия академика Фалька, ч. 1. Полн. собр. ученых путешествий по России, издаваемое Имп. АН, т. 6. СПб., 1824.

Федоров Е. С. Заметки о Кунгурских пещерах. — «Матер. для геол. России», т. 11, 1883.

Хабаков А. В. Очерки по истории геолого-разведочных знаний в России, ч. 1. М., 1950.

Хейнсалу Ю. Особенности строения и развития карстового участка Ухаку в северо-восточной Эстонии. — «Изв. АН Эст. ССР», т. 19, Химия, геология, 1970, № 3.

Чекановский А. Краткий отчет о результатах исследований в лето 1870 г. — «Изв. Сиб. отд. Русск. геогр. об-ва», т. II, 1871, № 5.

Чекановский А. Геологическое исследование в Иркутской губернии («Записки Сиб. отд. Русск. геогр. об-ва», т. XI). Иркутск, 1874, стр. 202, 216, 217.

Черский И. Д. Отчет об исследованиях Нижнеудинской пещеры. — «Изв. Сиб. отд. Русск. геогр. об-ва», 1874.

Черский И. Д. Отчет об исследованиях Нижнеудинской пещеры. — «Изв. Вост.-Сиб. отд. Русск. геогр. об-ва», т. VII, 1876 а, № 2—3.

(Черский И. Д.) Об исследованиях Черского в Балаганской пещере. — «Записки АН», т. 28, 1876 б, кн. 2.

Черский И. Д. Описание некоторых млекопитающих животных, вырытых в Нижнеудинских пещерах. — «Изв. Вост.-Сиб. отд. Русск. геогр. об-ва», т. X, 1879, № 1—2.

Черский И. Д. Предварительный отчет о геологическом исследовании береговой полосы озера Байкала. Год третий, 1879—XII. — «Изв. Вост.-Сиб. отд. Русск. геогр. об-ва», 1880, № 1—2.

Черский И. Д. Геологическое исследование сибирского почтового тракта. Прилож. к 59-му тому «Записок АН» № 2. СПб., 1888 (стр. 10).

Черский И. Д. Описание коллекции послетретичных млекопитающих животных, собранных Ново-Сибирской экспедицией 1885—1886 гг. — Прилож. к 65-му тому «Записок АН» № 1. СПб., 1891 (стр. 24).

Чикишев А. Г. Кулогорская гипсовая пещера. — Сб. «Типы карста в СССР» («Тр. МОИП», т. XV). М., 1965.

Шренк А. Путешествие к северо-востоку Европейской России. СПб., 1855.

Щекатов Афанасий. Словарь географический Российского государства. М., 1833.

Ядринцев Н. М. Поездка по Западной Сибири и в Горный Алтайский округ. — «Записки Зап.-Сиб. отд. Русск. геогр. об-ва», кн. 2. Омск, 1880.

Abich H. Ueber einen in der Nähe von Toulouza stattgefundenen Erdfall. — «Mélanges physiques et chimiques de l'Académie des Sciences», t. II, 1854 (p. 252—279).

Abich H. Vergleichende geologische Grundzüge der Kaukasischen, Armenischen und Nordpersischen Gebirge. Prodromus einer Geologie der Kaukasischen Länder. Aus den Mémoires de l'Académie des Sciences de St.-Petersbourg, VI série. Sc. mathémat. et phys. Tome VII, besonders abgedruckt. St.-Petersb., 1858.

Brandt F. Neue Untersuchungen über die in den altaischen Höhlen aufgefundenen Säugethierreste. Ein Beitrag zur quarternären Fauna des Russischen Reiches. — «Bull. de l'Acad. Imp. des Sci de St.-Petersb.», t. XV, 1870.

(*Engelhardt M.* und *Parrot F.*) Reise in die Krym und den Kaukasus von Moritz von Engelhardt und Friedrich Parrot, I Theil. Berlin, 1815.

Gmelin J. G. Reise durch Sibirien. Theiln I, III. Göttingen, 1751—1752.

Güldenstädt J. A. Reisen durch Russland und im Caucasischen Gebürge. Auf Befehl der Russisch-Kayserlichen Akademie der Wissenschaften herausg. von P. S. Pallas. II Theil. St.-Petersb., 1791.

(*Güldenstädt J. A.*). Dr. J. A. Güldenstädt's Reisen nach Georgien und Imerethi. Aus seinen Papieren gänzlich umgearbeitet und verbessert herausg., und mit erklärenden Anmerkungen begleitet von Julius von Klaproth. Berlin, 1815.

(*Helmersen*) Gr. v. Helmersen's Reise nach d. Altai in H. v. Bear's und Helmersene Beits. Beiträge zur Kenntnis d. Russ. R., Bd. XIV, 1848.

Pallas P. S. Bemerkungen auf einer Reise in die südlichen Statthalterschaften des Russischen Reichs in den Jahren 1793 und 1794 Bd. I. Leipzig, 1799.

Strahlenberg Ph. J. Das Nord und Östliche Theil von Europa und Asia... Stockholm, 1730 (S. 371—373).

К главе II

Абашидзе Е. М. Растворимость глаукозитовых известняков в связи с развитием карста в Шаорской карстовой области (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук). Тбилиси, 1967.

Абашидзе Е. М. К вопросу экспериментальных исследований известняков криптокристаллической структуры — *Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougoslav.*, vol. III, 1968.

Абдужабаров М. А. Густота и плотность карстовых форм За-рафшанского и Туркестанского хребтов. — «Вопр. карстоведен.», вып. II. Пермь, 1970.

Асташиев А. Установка для исследования процессов карстования. — «Новости техники» № 92, 23 мая 1932.

Бадер О. Н. Методика поисков и археологического обследования пещер, скалистых ниш и навесов. — «Методика изуч. карста», вып. 9. Пермь, 1963.

Багрова З. А. Исследование карста бассейнов рек Пинеги и Кулойа на основе материалов аэрофотосъемки. — «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Балков В. А. Методика изучения влияния карста на сток рек (на примере Куингурско-Иренского карстового района). — «Методика изуч. карста», вып. 8. Пермь, 1963.

Балков В. А. Влияние карста на сток рек в разных физико-географических условиях (на примере Европейской части СССР и Северного Кавказа) (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. докт. геогр. наук). Пермь, 1966.

Бибиков П. С. Опыт применения электроразведки для определения направления трещин в горных породах. — «Журн. технич. физики», т. 10, 1940, № 13.

Бочкарев П. Ф. Методика изучения интенсивности карстовых процессов по гидрохимическим данным (на примере Восточной Сибири). — «Методика изуч. карста», вып. 8. Пермь, 1963.

Брашнина И. А. Опыт применения гравиметрии и резистивиметрии при исследовании карстовых явлений в Дзержинске. — «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Брашнина И. А. Исследование карбонатно-гипсового карста района г. Дзержинска геофизическими методами. — «Вопр. карстоведен.», вып. II. Пермь, 1970 г.

Брашнина И. А. Закономерности распространения карста в районе г. Дзержинска по данным геофизических исследований (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук). М., 1970 г.

Бутырин П. Н. К вопросу изучения процессов карста. — «Мат-лы по гидрол., гидрогр. и водн. силам СССР», вып. 26, сер. 3. Спец. вопр. и исслед. Л.—М., 1935.

Бутырин П. Н. Лабораторные исследования известняков Черкейского ущелья на растворимость и выщелачивание. — «Тр. ЦНИГРИ», вып. 40. Л.—М., 1936.

Васильев Б. В. Методика изучения карста при гидрогеологических исследованиях на примере Ронгазарского карстового участка в Татарской АССР. — «Методика изуч. карста», вып. 6. Пермь, 1963.

Верзаков М. С. Опыт использования методов математической статистики для оценки вероятных размеров карстовых провалов. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Виноградов Б. В., Григорьев Ал. А. Использование космических фотографий для изучения экзогенных форм рельефа. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 102, 1970, вып. 6.

Владимиров Л. А. К методике исследования режима стока кар-

стовых вод в горной области (на примере Грузии). — «Методика изуч. карста», вып. 8. Пермь, 1963.

Владимиров Л. А. Питание рек и внутригодовое распределение речного стока на территории Грузии. Тбилиси, 1964.

Вологодский Г. П. Карст. — В кн.: «Инж. геол. Прибайк.» М., 1968.

Востряков А. В. Древний карст на территории Прикаспийской впадины и смежных областей и методы его изучения. — «Методика изуч. карста», вып. 4. Пермь, 1963.

Газизов М. С. Опыт применения некоторых методов для изучения карстовых образований. — Сб. «Вопр. изуч. карста Русск. равн.». М., 1966.

Галицкий В. И. Использование ископаемых форм карста для выявления новейших тектонических движений. — «Методика изуч. карста», вып. 4. Пермь, 1963.

Гвоздецкий Н. А. Исследования карстовых областей. — Сб. «Методы географич. иссл.». М., 1960 а.

Гвоздецкий Н. А. К вопросу о распространении и особенностях карста в горах Средней Азии. — «Землеведение», нов. сер., т. 5 (45). М., 1960 б.

Гвоздецкий Н. А. Применение некоторых методов при геоморфологических исследованиях карста. — «Методика изуч. карста», вып. 2. Пермь, 1963 а.

Гвоздецкий Н. А. О методике изучения зависимости долинной сети от трещиноватости в карстовых районах. — «Методика изуч. карста», вып. 8. Пермь, 1963 б.

Гвоздецкий Н. А., Чалая Н. П. Индикация горных пород по рисунку гидрографической сети. — В кн.: «Индикац. геогр. иссл.» («Тр. МОИП», т. 36). М., 1970.

Головцин В. Н. О возможности применения электрометрических методов к изучению карстовых явлений. — «Тр. Сейсмол. ин-та АН СССР», вып. 52, 1935.

Головцин В. Н. Роль геофизических методов при решении некоторых геологических задач в карстовых областях. — «Тезисы докл. Пермск. карстов. конф.», 1947.

Головцин В. Н., Смольников Б. М., Дублянский В. Н., Иванов Б. И. Применение геоэлектрических исследований к решению основных проблем карста Горного Крыма. Киев, 1966.

Горбунова К. А. Опыт детальных гидрогеологических исследований карста на примере восточного крыла Уфимского вала. — «Методика изуч. карста», вып. 6. Пермь, 1963.

Горелик А. М. и Сахарова М. П. Применение электроразведки при инженерно-геологических изысканиях на железных дорогах (инженерная электроразведка). М., 1951.

Гребениčkова А. А. К вопросу о развитии болот в карстовых воронках Ивановской области. — «Сов. ботаника», 1939, № 1.

Гричук В. П. Карстовые озера (современные и ископаемые) долины р. Теши. — «Землеведение», т. 39, 1937, вып. 1.

Домбровский О. И., Щепинский А. А. О методике археологических разведок при комплексном исследовании пещер Горного Крыма. — «Методика изуч. карста», вып. 9. Пермь, 1963.

Дублянский В. Н. Топографическое изучение карстовых полостей. — «Методика изуч. карста», вып. 9. Пермь, 1963 а.

Дублянский В. Н. Методика гидрогеологического изучения карстовых полостей. — «Методика изуч. карста», вып. 9. Пермь, 1963 б.

Дублянский В. Н. Применение количественных методов при изучении карстовых полостей Украины. — «Вопр. карстоведеи.», вып. II. Пермь, 1970.

Дублянский В. Н., Гончаров В. П. В глубинах подземного мира. Симферополь, 1970.

Задорожная Л. П. Связь формы карстовых воронок с вещественным составом карбонатных пород. — «Вопр. карстоведеи.», вып. II. Пермь, 1970.

Зенгина С. М. Комплексная картографическая характеристика рельефа как фактора карстообразования. — «Тезисы докл. II науч.-техн. конф. по картографии». Л., 1966.

Зенгина С. М. Комплексная карта карста плато главной горной гряды Крыма. — «Комплексн. картографир. производит. сил Укр. ССР». Киев, 1967 а.

Зенгина С. М. Опыт картографирования поверхностных карстовых форм Горного Крыма (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Киев, 1967 б.

Зенгина С. М. Краткий обзор картографирования поверхностных карстовых форм за рубежом. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 102, 1970, вып. 6.

Иванов Б. Н. Методика комплексной карстологической средне-масштабной съемки на примере Горного Крыма. — «Методика изуч. карста», вып. 3. Пермь, 1964 а.

Иванов Б. Н. Методика комплексной карстологической крупномасштабной съемки на примерах Приайпетринской котловины и Мердвенского плато в Крыму. — Там же, 1964 б.

Иванов Б. Н. Количественные оценки интенсивности формирования просадочно-провальных карстовых образований на Украине. — «Вопр. карстоведеи.», вып. II. Пермь, 1970.

Иванов Б. Н., Ильина С. М. Открытый (голый) карст Горного Крыма. — В кн.: «Типы карста в СССР» («Тр. МОИП», т. 15). М., 1965.

Ильин А. Н., Капустин А. П., Коган И. А., Попов И. В., Прокурова Н. А., Саваренский И. А., Чихачев С. М. Карстовые явления в районе города Дзержинска Горьковской области. — «Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР», т. 32, 1960.

Ильин С. В. и Кельманский М. С. Результаты работы Уральской научно-исследовательской карстовой станции. — «Тр. Уральск. науч.-иссл. ин-та геол., разв. и иссл. минер. сырья», вып. I, геол. и геофиз. Свердловск, 1938.

Илюхин В., Дублянский В. Путешествия под землей. М., 1968.

Кавеев М. С. Методика инженерно-геологических исследований карста. — «Методика изуч. карста», вып. 7. Пермь, 1963.

Каленов Е. Электрическая разведка карстовых образований в Донбассе. — «Разв. недр.», 1938, № 7.

Карст Казахстана (объясн. зап. к карте...). М., 1967.

(Козменко А. С.). Труды Гидрологического отд. Тульского губ. земства. Гидрологические исследования Тульской губ., район I. Карты I-го вып. и пояснит. зап. под ред. А. С. Козменко. М., 1912—1913.

Козменко А. С. Задачи Ново-Михайловской гидрологической станции в карстовом районе ЦЧО. — «Изв. Гос. гидрол. ин-та» № 47. Л., 1932.

Коротеев А. П. Спутник гидрогеолога. Изд. 2-е. М.—Л., 1936.
Кудрин Л. К. Методика определения возраста карстовых воронок и древнего карста юго-западной окраины Русской платформы. — «Методика изуч. карста», вып. 4. Пермь, 1963.

Кузнецов А. М. О выщелачивании гипса и ангидрита. — Изв. Ест.-науч. ин-та при Пермск. ун-те», т. 12, вып. 4, 1947.

Кузнецова Л. С. Дешифрируемость карста в карбонатных породах. — «Вопр. карстоведен.», Пермь, 1969.

Лукин В. С. О сосредоточении карста. — Сб. «Вопр. изуч. карста Русск. равн.», М., 1966.

Максимович Г. А. Краткая инструкция по изучению пещерного льда и ледяных пещер. Пермь, 1946.

Максимович Г. А. Методы изучения карста. — «Учен. зап. Пермск. ун-та», геол. и геогр., кн. X, т. X, вып. 2, 1956.

Максимович Г. А. Условные обозначения для мелкомасштабных планов и профилей пещер. — «Методика изуч. карста», вып. 9. Пермь, 1963 а.

Максимович Г. А. Инструкция по изучению пещерного льда и ледяных пещер. — «Методика изуч. карста», вып. 9. Пермь, 1963 б.

Максимович Г. А. Методика изучения карста. — Сб. «Сов. иссл. карста за 50 лет», М., 1967.

Максимович Г. А. Некоторые вопросы морфометрии карстовых полостей. — «Вопр. карстоведен.», Пермь, 1969.

Максимович Г. А. Морфометрическое деление натечных образований пещер. — «Вопр. карстоведен.», вып. II. Пермь, 1970.

Маслов В. П. К вопросу о фазах седиментации и карстообразования погребенных массивов Ишимбая. — «Изв. АН СССР», сер. геол., 1945, № 1.

Матвеев Б. К. Методика геофизического изучения карстовых полостей на примере работ в районе Кунгурской ледяной пещеры. — «Методика изуч. карста», вып. 5. Пермь, 1963 а.

Матвеев Б. К. Методика изучения движения трещинно-карстовых вод геофизическими способами (по результатам работ на Урале). — Там же, 1963 б.

Методы изучения осадочных пород, т. I—II. М., 1957.

Михайлов Г. К. Об аэровизуальных наблюдениях при гидрогеологическом изучении карстовых районов. — «Методика изуч. карста», вып. 3. Пермь, 1964.

Николаев Н. И. Изучение работы подземных вод. — «Справочн. путешеств. и краеведа», т. II. М., 1950.

Обручев В. А. Полевая геология. т. II. Изд. 4-е. М.—Л., 1932 (гл. XI).

Овчинников А. М. К методике изучения трещиноватости. — «Разв. недр», 1938, № 4—5.

Овчинников А. М. Общая гидрогеология. Изд. 2-е. М., 1955.

Огильви А. А. Применение метода естественного тока для определения мест фильтрации воды из волохранилищ. — «Гидротехн. стронт-во», 1946, № 12.

Огильви А. А. Электроразведочные методы изучения карстовых явлений. — Информ. сб. Мосгидроэнергопроекта. М., 1951.

Огильви А. А. Геоэлектрические методы изучения карста. М., 1956 (1957).

Огильви А. А. Основные вопросы изучения карста методами геофизики. — «Землеведение», нов. сер., т. 5 (45). М., 1960.

Огильви А. А. Геофизические методы исследований при инже-

перио-геологических и гидрогеологических изысканиях (докл. по совокупн. печ. работ. представл. на соиск. учен. степ. д-ра геол.-мин. наук). М., 1962.

Огильви А. А., Матвеев Б. К. и Шкабария Н. Г. Электрическая разведка Купигурской карстовой пещеры. — «Вест. Моск. ун-та», сер. геол., 1960, № 3.

Пармузин Ю. П. Карта «Карст на территории СССР». — В кн.: «Общие вопросы карстоведения». М., 1962.

Парфенов С. И. Обнаружение карста геохимическим методом. — «Путь и путевое хозяйство», 1966, № 2.

Петровский А. А. и Крамарев Б. Н. Применение электрометрических методов разведки для изучения карстовых явлений. — «Тр. Урал. фил. АН», вып. VI, «Пробл. электрометр. метод. разведки». Свердловск — М., 1935.

Петрусевиц М. Н. Аэрометоды при геологических исследованиях. М., 1962.

Печеркин И. А. Изучение закарстованности по керну буровых скважин. — «Методика изуч. карста», вып. 2. Пермь, 1963.

Полевой В. С. Поиски и разведка закарстованных зон геофизическими методами. — «Бюлл. Моск. об-ва исп. прир.», нов. сер., отд. геол., т. 34, 1959, вып. 4.

Полевой В. С. Опыт применения сейсморазведки и электроразведки при изучении карста в районе Волго-Усинского водораздела. — «Методика изуч. карста», вып. 5. Пермь, 1963.

Полевой В. С. Опыт применения геофизических исследований для гидротехнического строительства в карстовых районах. — В кн.: «Карст и его народнохоз. значен.». («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Попов И. В. Инженерная геология СССР, ч. I. М., 1961.

Попов И. В. Изучение карста в связи с инженерными исследованиями. — Сб. «Сов. иссл. карста за 50 лет». М., 1967.

Радугин К. В. Методика изучения реликтовых тектоноструктур в карстовых брекчиях и конгломератах. — «Методика изуч. карста», вып. 4. Пермь, 1963 а.

Радугин К. В. Методика изучения унаследованного метаморфизма обломков в карстовых брекчиях и конгломератах. — Там же, 1963 б.

Родионов Н. В. Изучение доломитовой муки. — «Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР», т. 6, 1949.

Родионов Н. В. Опыт воспроизведения некоторых карстовых форм в лабораторных условиях. — «Тезисы докл. на совещ. по изуч. карста», вып. 8. М., 1956.

Саваренский И. А. Инженерно-геологическая оценка карстовых явлений в районе г. Дзержинска. — «Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР», т. 47, 1962.

Саваренский И. А. Вероятность появления карстовых провалов различных диаметров в районе г. Дзержинска. — «Новости карстовед. и спелеол.», № 3. М., 1963.

Серебрянный Л. Р. Радиоуглеродный метод и его применение для изучения палеогеографии четвертичного периода. — «К VI конгр. INQUA». М., 1961.

Серебрянный Л. Р. Применение радиоуглеродного метода в четвертичной геологии. — «К VII конгр. INQUA» (США, 1965). М., 1965.

Скуодис В. П. Графический метод определения приуроченности реликтовых карстово-суффозионно-эрозионных провалов к системам

связи с решением некоторых практических задач. — В кн.: «Карст и его народнохоз. значен.». («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Чуринов М. В. Особенности методики гидрогеологической съемки горных районов открытого карста и составления карстово-гидрогеологических карт масштабов 1 : 25 000—1 : 100 000. — «Методика изуч. карста», вып. 6. Пермь, 1963.

Шерстюков Н. М. Петрогенетические исследования карстовых образований. — «Тр. Всес. пром. акад. цветн. металлург.», вып. III. Свердловск—М., 1940.

Шимановский Л. А. Изучение карста при мелкомасштабных гидрогеологических съемках на примере Уфимского плато и прилегающей территории. — «Методика изуч. карста», вып. 6. Пермь, 1963.

Яковенко П. И. Применение количественных методов при инженерно-геологических исследованиях в карстовых районах. — «Вопр. карстоведен.», вып. II. Пермь, 1970.

Яковенко П. И., Сидорчук В. И. Опыт применения ЭВМ для решения некоторых задач при исследовании карста. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Якуч Ласло. В подземном царстве. М., 1963.

Яцкевич З. В. Материалы к изучению карста Индерского подпятия. — «Изв. Гос. геогр. об-ва», т. 69, 1937, вып. 6.

Cebecauer I. Nové možnosti sledovania súvislosti podzemných tokov v krasových územiach. — «Slov. Kras», roč. 8, 1969, Lipt. Mikuláš, 1970.

Drew D. P. and Smith D. I. Techniques for the tracing of subterranean drainage. British Geomorph. research group, Technical bull. № 2, 1969.

Folsom F. Exploring american caves. New York, 1962, Chap. 19.

Fritsch V. Messverfahren der Funkmutung. München u. Berlin, 1943.

Gams J. Prispevka k vprašanju starosti Postojnske jame. — «Naše jame», IX/1967, 1—2. Ljubljana, 1968.

Howard A. D., Howard B. Y. Solution of limestone under laminar flow between parallel boundaries. — «Cave and Karst», vol. 9, 1967, № 4.

Jakucs L. Untersuchungen über den Dynamismus und Chemismus der Tropfsteinbildung. — «Acta Geographica», t. VI, 1966, fasc. 1—4. Szeged (Hungaria).

Janáček P. K zásadám a metodike spracovania krasu a mapy Krasu Slovenska. — «Slovenský Kras», roč. VI, 1965—1966. Bratislava, 1968.

Kántás K. A karsztvizkutatás geofizikai lehetőségei. Magyar Tudomány Akadémia. Műszaki Tud. Oszt. f. 1, 1951 (313—318). (Геофизические возможности исследования карстовых вод, венгерск.)

Löhnberg A. Lösung geographisch-hydrographischer Fragen mit Hilfe einer geoelektrischen Methode. — «Petermanns Mitteilung.», 80 Jahrg., 1934, H. 1. Gotha.

Löhnberg A. und Stern W. Ein neuer Weg der Karsthydrologischen Forschung durch Anwendung geoelektrischer Methoden. — «Ztschr. f. Geophysik». VIII Jahrgang, 1932, H. 6/7. Braunschweig.

Maurin V., Zötl J. Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. — «Beiträge zur Alpen Karstforschung», H. 12, Wien, 1960.

Núñez Jiménez A., Panos V. y Stelci O. Carsos de Cuba. Serie espeleológica y carsológica, № 2. La Habana, 1968.

Orghidan Tr., Pușcariu V., Bleahu M., Decu V., Rusu T., Bunescu A. Harta regiunilor carstice din România. — *Lucrările Institutului de Speologie «Emil Racoviță»*. Tom IV. București, 1965.

Schmidt Z., Chrapan J. Datovanie osteologického materiálu fosilných Ursidae metódou ¹⁴C z Medvedej jaskyne v Slovenskom raji. — «Slov. Kras», roč. 8, 1970.

Signes conventionnels a l'usage des speleologues. «*Stalactite*», 16^{ème} année, 1966, № 3.

Szczepanek K. Kras Staszowski w świetle wyników wstępnych badań paleobotanicznych. — «*Folia Quaternaria*», 29, 1968.

Trimmel H. Eine weitere Methode zur absoluten Alterbestimmung von Tropfsteinen. — «*Höhle*», 15, 1964, № 4.

Vittásek Fr. Der Rhythmus im Wachstum der Tropfsteine und die Demänováhdöhlen. — «*Zeitschr. für Geomorphologie*», Bd. XI, 1940, H. 2/3. Berlin.

Vodička J. The role played by the speleocartography in the karst investigation in Czechoslovakia. — «*Problems of the speleolog. research*». Prague, 1965.

К главе III

Абашидзе Е. М. Растворимость глауконитовых известняков в связи с развитием карста в Шаорской карстовой области. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук. Тбилиси, 1967.

Беляк В. И. Карст приенисейской части Восточного Саяна и его ландшафтообразующая роль. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук. Иркутск, 1967.

Борисова Е. А. Опыт подсчета возраста карстовых форм по растворимости. — «Тезисы докл. Пермск. карстов, конф.». Пермь, 1947.

Бунеев А. Н. Агрессивная углекислота в минеральных водах. — «Тр. Центр. ин-та курортолог.», т. IV, 1932.

Бутырин П. Н. К вопросу изучения процессов карста. — «Матер. по гидрол., гидрогр. и водн. силам СССР», вып. 26, сер. III. Спец. вопр. и исслед. Л.—М., 1935.

Великанов М. А. Гидрология суши, изд. 4-е. Л., 1948.

Гвоздецкий Н. А. Отчет Комиссии карстовых явлений Международного географического союза. — «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1957, № 4.

Гвоздецкий Н. А. Проблемы карстоведения. — «Научн. докл. высш. шк.», геол.-геогр., 1958, № 2.

Гвоздецкий Н. А. Комиссия по изучению карста. — В кн.: «XIX Междунар. геогр. конгр. в Стокгольме». М., 1961 а.

Гвоздецкий Н. А. 1) Сессия Комиссии карстовых явлений на XIX Международном географическом конгрессе. 2) Internationale Beiträge zur Karstmorphologie. — «Новости карстоведения и спелеологии» № 2., М., 1961 б.

Гвоздецкий Н. А. Проблемы и ближайшие задачи изучения Среднеазиатского карста. — «Тр. Самарканд. гос. ун-та», нов. сер., вып. 134. Самарканд, 1963.

Гвоздецкий Н. А. Карст Кавказа в сопоставлении с карстом других горных областей СССР. — «Сообщения АН Груз. ССР», т. 39, 1965, № 1.

Гергедава Б. А. Роль конденсационной и инфильтрационной воды в происхождении карстовых пещер. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 102, 1970, вып. 5.

Глухов И. Г. Роль конденсации в балансе карстовых вод горных сооружений (на примере Горного Крыма). — «Изв. высш. учебн. завед.», геол. и разведка, 1965, № 3.

Девдариани А. С. К методике стационарных наблюдений за интенсивностью карстообразования. — В сб.: «Методика изуч. карста», вып. 2. Пермь, 1963.

Дублянский В. Н. Некоторые вопросы гидрогеологии карста Горного Крыма. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., t. III. Ljubljana, 1968.

Еременко Н. М. Карст восточной половины северного склона Большого Кавказа (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). М., 1971.

Карбонатные породы, т. I. М., 1970.

Кавеев М. С. Методика инженерно-геологических исследований карста. — «Методика изуч. карста», вып. 7. Пермь, 1963.

Каиштанов С. Г. Химический состав атмосферных осадков в г. Казани (1964—1966 гг.). — «Вопр. гидрогеол. и геотектоники». Учен. зап. Казанск. ун-та, т. 128, кн. 1, 1968.

Кикнадзе Т. З. Гидрогеологические особенности развития карста на массиве Арабика (Кавказ, западная Грузия). — «Карст и пещеры Грузии». Тбилиси, 1965.

Кикнадзе Т. З. Гидрогеологические условия развития карста массива Арабика (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук). Пермь, 1971.

Колодяжная А. А. Формирование агрессивности природных вод как основной фактор возникновения и развития карбонатного карста. — В сб.: «Сов. иссл. карста за 50 лет». М., 1967.

Короткевич Г. В. Соляной карст и борьба с карстообразованием при разработке соляных месторождений (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. д-ра геол.-мин. наук). Л., 1967.

Костин П. А. Карст Передового хребта и полосы куэст Северо-Западного Кавказа (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). М., 1966.

Костин П. А. Опыт применения количественного метода к изучению горного карста. — «Вест. Моск. ун-та», геогр., 1967, № 3.

Кротова Е. А. Количественная оценка активности карста Пермской области. — «Вопр. карстоведен.», вып. II. Пермь, 1970.

Крубер А. А. Гидрография карста. — «Сб. в честь 70-летия Д. Н. Анучина». М., 1913.

Кузнецов А. М. О выщелачивании гипса и ангидрита. — «Изв. Естественн. ин-та при Пермск. ун-те», т. 12, 1947 а, вып. 4.

Кузнецов А. М. О выщелачивании гипса и ангидрита. — Тезисы докл. Пермск. карстов. конф., 1947 в.

Лукин В. С. Воздушный режим закарстованных массивов на примере Кунгурского пайона. — «Спец. вопр. карстоведен.», М., 1962.

Лукин В. С. Количественное выражение процессов испарения воды и конденсации водяных паров в гипсово-ангидритовых массивах Уфимского плато. — «Землеведение», нов. сер., т. 8 (48). М., 1969.

Маккавеев Н. И. Руслó реки и эрозия в ее бассейне. М., 1955.

Максимович Г. А. Генетический ряд пещерных отложений пещер (карбонатный спелеолитогенез). — «Пещеры», вып. 5 (6). Пермь, 1965.

Максимович Г. А., Балков В. А. Определение интенсивности карстообразования по величине и составу зимнего химического стока. —

«Химическая география и гидрогеохимия», вып. 2 (3). Пермь, 1963.

Неклюкова Н. П. Общее землеведение. М., 1967.

Прихотько Г. Ф. Микроклиматические наблюдения в карстовой пещере Кавказского побережья. — Сб. «Вопр. карста на юге Европ. части СССР». Ялта, 1956.

Прокофьев С. С. Роль конденсационной воды в образовании карстовых пещер. — «Пещеры», вып. 4 (5). Пермь, 1964.

Родионов Н. В. Изменения карбонатных пород в процессе карста. — «Тезисы докл. Пермск. карстов. конф.», 1947.

Родионов Н. В. Некоторые данные о скорости развития карста в карбонатных породах. — «Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР», т. VI, 1949.

Родионов Н. В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах при устройстве малых водоемов, гражданском и промышленном строительстве. М., 1958.

Родионов Н. В. Карстовые явления в верхнемеловых отложениях Центрально-Черноземных областей. — В кн.: «Общ. вопр. карстоведен.». М., 1962.

Самойлов О. Я. Современные представления о структуре воды и водных растворов электролитов. — Сб. «Растворен. и выщелачив. горн. пород». М., 1957 а.

Самойлов О. Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М., 1957 б.

Соколов Д. С. Некоторые особенности развития карста в одном из районов среднего течения р. Янцзы (Китай). — Сб. «Регионалы. карстоведен.». М., 1958.

Соколов Д. С. Исследование, имеющее большое значение для геохимии и гидрогеологии. — «Изв. высш. учебн. заведени.», геол. и разведка, 1959 а, № 1.

Соколов Д. С. Основные условия развития карста (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. д-ра геол.-мин. наук). М., 1959 б.

Устинова Т. И. Методика подсчета конденсационной влаги в пещерах восточной части Горного Крыма. — «Тезисы докл. на Совещ. по изуч. карста», вып. 8. М., 1956.

Устинова Т. И. Методика подсчета конденсационной влаги в пещерах. — «Методика изуч. карста», вып. 9. Пермь, 1963.

Яковенко П. И. Инженерно-геологическая оценка закарстованной территории. — «Транспортн. стр.-во», 1968, № 3.

Яковенко П. И. Применение количественных методов при инженерно-геологических исследованиях в карстовых районах. — «Вопр. карстоведен.», вып. 11. Пермь, 1970.

Якушова А. Ф. Карст и гидротехническое строительство. — «Карстование» («Тр. Пермск. карстов. конф.»), вып. 4. Пермь, 1948.

Янатьева О. К. Растворимость доломита в водных растворах солей. — «Изв. сектора физ.-хим. анализа АН СССР», т. 20, 1950.

Balázs D. A keverédsi korrózió szerepe a karsztosodásban. — «Hidrológiai Közöny», 1966, 4. sz.

Balázs D. Karst regions in Indonesia. — Karszt- és barlangkutatás, vol. V. Ann. course 1964—1967. Budapest, 1968.

Bögli A. Der Chemismus der Lösungsprozesse und der Einfluss der Gesteinsbeschaffenheit auf die Entwicklung des Karstes. — Report of the Commis. on Karst Phenom., XVIII th Intern. Geogr. Congr. Rio de Janeiro, August 9—18, 1956.

К главе IV

Болотина Н. М. и Соколов Д. С. Карст района Витебских порогов. — «Бюлл. Моск. об-ва исп. прир.», отд. геол., т. 29, 1954, № 4.

Вишняков С. Г. Классификация осадочных карбонатных пород. — «Тр. Межвузовск. науч. совещ. по геол. и полезн. ископ. Центр.-Черноз. областей». Воронеж, 1957.

Воейков А. Воздействие человека на природу. — «Землеведение», т. 1, 1894, кн. 2.

Вульф Е. В. Растительность восточных ялл Крыма. М., 1925.

Гвоздецкий Н. А. Карстовые явления в окрестностях озера Баскупчак. — Сб. «Памяти проф. А. Н. Мазаровича». М., 1953.

Гвоздецкий Н. А. Проблемы карстования. — «Науч. докл. высш. шк.», геол.-геогр., 1958, № 2.

Гвоздецкий Н. А. Проблемы и ближайшие задачи изучения среднеазиатского карста. — «Матер. по карсту Узбекист.». «Тр. Самарк. ун-та», нов. сер., вып. 134, 1963.

Гвоздецкий Н. А. Тектонические трещины и сила бортового отпора. — «Вестн. Моск. ун-та», геогр., 1966, № 4.

Гвоздецкий Н. А. и Спиридонов А. И. Новые данные о карсте бассейна р. Клязьмы и Окско-Клязьминского междуречья. — Сб. «Региональное карстование». М., 1958.

Глазовская М. А. К истории развития современных природных ландшафтов Внутреннего Тянь-Шаня. — Сб. «Географические исследования в Центральном Тянь-Шане». М., 1953.

Дублянский В. Н. Некоторые вопросы гидрогеологии карста Горного Крыма. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., t. III, Ljubljana, 1968.

Иванов А. А. и Левцкий Ю. Ф. Геология галогенных отложений (формаций) СССР. — «Тр. ВСЕГЕИ», нов. сер., т. 35. М., 1960.

Игнатович Н. К. Гидрогеологические особенности Ггаринского района. — «Курортно-санаторн. дело», 1930, № 3—4.

Карбонатные породы, т. 1. М., 1970.

Козменко А. С. Мелиорация водоносности карстовых районов ЦЧО и южной части Московской обл. Всес. науч.-иссл. ин-т гидро-техн. и мелиорат. ВАСХНИЛ, 1931.

Колодяжная А. А. Карст флишевой формации юго-западного склона Кавказа. М., 1965.

Колодяжная А. А. Формирование агрессивности природных вод как основной фактор возникновения и развития карбонатного карста. — Сб. «Сов. иссл. карста за 50 лет». М., 1967.

Короткевич Г. В. Соляной карст и борьба с карстообразованием при разработке соляных месторождений (автор. дисс. на соиск. учен. степ. д-ра геол.-мин. наук). Л., 1967.

Коссович П. С. О круговороте серы и хлора на земном шаре и значении этого процесса в природе, почве и культуре сельскохозяйственных растений. (Сообщ. из Бюро по земледел. и почвовед. Учен. комит. главн. упр. землеустройства и земледел. Сообщ. 2.). СПб., 1913.

Котлов Ф. В. Проявления антропогенного карста на территориях некоторых городов и промышленных центров. — «Новости карстования и спелеол.», № 3. М., 1963.

Крубер А. А. Гидрография карста. — «Сб. в честь 70-летия Д. Н. Анучина». М., 1913.

Кузнецова Л. С. Роль некоторых факторов карстообразования

на примерах Кизеловского района. — В кн.: «Общ. вопр. карстовед.», М., 1962.

Ланге О. К. Гидрогеология. М., 1969.

Лыкошин А. Г. Трещины бортового отпора. — «Бюлл. Моск. об-ва исп. прир.», нов. сер., отд. геол., т. 28, 1953, вып. 4.

Лыкошин А. Г. Инженерно-геологические исследования карста для гидротехнического строительства. — В кн.: «Карст и его народно-хоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Мартоны Э. Основы физической географии, т. II. Геоморфология. М., 1945.

Нацкий А. Д. Геологический очерк Малого Балхана по исследованиям в 1914 и 1916 годах. — «Геол. ком. Матер. по общ. и прикл. геол.», вып. 4. Пг., 1916.

Немчинова Е. Е. Карстовые явления пустынной зоны Узбекистана. — «Матер. по карсту Узбекист.». «Тр. Самарк. ун-та», нов. сер., вып. 134, 1963.

Николаев Н. И. Об эволюционном развитии карстовых форм и значении структурно-тектонического фактора. — «Сов. геология», сб. 10. М., 1946.

Овчинников А. М. Общая гидрогеология. Изд. 2-е. М., 1955.

Орфаниди К. Ф. Свободная углекислота в подземных водах. — «Бюлл. Моск. об-ва исп. прир.», отд. геол., т. 37, 1962, вып. 3.

Парфенов С. И. Особенности гипсотизации ангидритов. — «Литология и полезные ископаемые», 1967, № 3.

Попов И. В. Изучение карста в связи с инженерными исследованиями. — Сб. «Сов. иссл. карста за 50 лет». М., 1967.

Пославская О. Ю. Физико-географические условия развития карста в Узбекистане. — «Матер. по карсту Узбекист.». «Тр. Самарк. ун-та», нов. сер., вып. 134, 1963.

Родионов Н. В. Изменения карбонатных пород в процессе карста. — «Тезисы докл. Пермск. карстов. конф.», 1947.

Родионов Н. В. Изучение доломитовой муки. — «Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР», т. 6, 1949.

Ронов А. Б. Химический состав и условия формирования палеозойских карбонатных толщ Русской платформы (по данным литолого-геохимических карт). — Сб. «Типы доломитовых пород и их генезис». «Тр. Геол. ин-та АН СССР», вып. 4. М., 1956.

Соколов Д. С. Влияние крутизны поверхности на распределение карстовых воронок. — «Природа», 1948, № 1.

Соколов Д. С. Основные условия развития карста. — «Бюлл. Моск. об-ва исп. прир.», отд. геол., т. 26, 1951, вып. 2.

Соколов Д. С. Некоторые особенности развития карста в одном из районов среднего течения р. Янцзы (Китай). — Сб. «Региональн. карстоведен.», М., 1958.

Соколов Н. И. Явление «отседания» склонов. — «Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР», т. 14, 1957.

Соколова В. М. Карст долины р. Пьяны. — «Уч. зап. Моск. гор. ин-та», т. 39. «Тр. Геогр. ф-та», вып. 4. М., 1955.

Страхов Н. М. Известково-доломитовые фации современных и древних водоемов. — «Тр. Ин-та геол. наук АН СССР», вып. 124. М., 1951.

Страхов Н. М. О типах и генезисе доломитовых пород. — Сб. «Типы доломитовых пород и их генезис». «Тр. Геол. ин-та АН СССР», вып. 4. М., 1956.

Страхов П. М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М., 1963.

Ступишин А. В. Карст Среднего Поволжья (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. д-ра геогр. наук). М., 1956.

Ступишин А. В. К вопросу взаимоотношения карста и почвенного покрова. — «Научн. докл. высш. шк.», геол.-геогр., 1958, № 1.

Сумочкина Т. Е. Карст южного Узбекистана. — «Матер. по карсту Узбекист.». «Тр. Самарк. ун-та», нов. сер., вып. 134, 1963.

Ткаченко М. Е. Общее лесоводство. Изд. 2-е. М.—Л., 1952.

Торсуев Н. П. К вопросу освещения климата в карстоведческих работах (на примере Онего-Северодвинского междуречья). — «Итогов. науч. колл. Казанск. гос. ун-та им. В. И. Ульянова-Ленина за 1963 г. (Кратк. содерж. докл.)» Секции: геогр., геол.-минер. Казань, 1964.

Швецов М. С. Петрография осадочных пород. Изд. 3-е. М., 1958.

Balázs D. Intensity of the tropical karst development based on cases of Indonesia, — «Karszt- és barlangkutató», vol. VI. Budapest, 1971.

Briot P. Esquisse d'une étude de l'érosion en pays calcaires. — In «Karstphänomen in den verschiedenen Klimazonen». «Erdkunde», Bd. 8, 1954, H. 2. Bonn.

Bögli A. Der Chemismus der Lösungsprozesse und der Einfluss der Gesteinsbeschaffenheit auf die Entwicklung des Karstes. — Report of the Commis. on Karst Phenom., XVIIIth. Intern. Geogr. Congr. Rio de Janeiro, August 9—18, 1956.

Corbel J. Érosion en terrain calcaire. — «Annales de géographie», № 366, 68 année, mars—avril, 1959.

Cvijić J. Types morphologiques des terrains calcaires. Le Holokarst. — «Compt. rend. Acad. Sci.», t. 180, 1925.

Jakucs L. The role of climate in the quantitative and qualitative control of karstic corrosion. — «Acta Geographica», t. X, 1970, fasc. 1—8. Szeged (Hungaria).

Lehmann O. Hydrographie des Karstes. — «Enzyklopädie der Erdkunde», hrsg. v. O. Kende. Leipzig u. Wien, 1932.

Martel E. A. Les Abîmes. Les eaux souterraines, les cavernes, les sources, la spéléologie. Paris, 1894.

Martel E. A. Universalité et ancienneté des phénomènes cavernieux du calcaire. — A.F.A.S., Congrès de Montauban, 13 août, 1902.

Nicholson F. H. and Nicholson H. M. A new method of measuring soil carbon dioxide for limestone solution studies, with results from Jamaica and the United Kingdom. — «Journ. British Speleol. Assoc.», vol. 6, № 43—44, 1969.

Smith D. I. The solutional erosion of limestones in an arctic morphogenetic. — «Probl. of the karst denudation». Brno, 1969.

Verstappen H. Th. Karst morphology of the Star Mountains (Central New Guinea) and its relation to lithology and climate. — «Zeitschr. f. Geomorph.», Bd. 8, 1964, H. 1.

К главе V

Барков А. С. О микроформах карста. — «Учен. зап. геогр. ф-та Моск. гос. пед. ин-та», 1938.

Гвоздецкий Н. А. Карстовые явления в Центральном и Внутреннем Тянь-Шане. — «Вестн. Моск. ун-та», сер. биол., почв., геол., геогр., 1959, № 1.

Гвоздецкий Н. А. К вопросу о распространении и особенностях карста в горах Средней Азии. — «Землеведение», нов. сер., т. 5 (45). М., 1960.

Гвоздецкий Н. А. Карст района Кавказских Минеральных Вод. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Гвоздецкий Н. А. Карст Кавказа в сопоставлении с карстом других горных областей СССР. — «Сообщ. АН Груз. ССР», т. 39, 1965, № 1.

Гвоздецкий Н. А. Карст междуречья Малки и Гунделена (Северный Кавказ). — «Землеведение», нов. сер., т. 7 (47). М., 1967.

Гвоздецкий Н. А. Громадные провалы в равнинном платформенном карсте. — «Природа», 1970, № 10.

Гвоздецкий Н. А. Новые данные о карсте Алтая. — «Геоморфология», 1972, № 1.

Геллерт И. Ф. Тропический башенный и конический карст. — «Вестн. Моск. ун-та», сер. V, геогр., 1966, № 5.

Девдариани А. С. Методика картирования суффозионных форм рельефа в карстовых районах в инженерно-геологических целях на примере Североуральских бокситовых месторождений. — «Методика изуч. карста», вып. 7. Пермь, 1963.

Еременко Н. М. Реликтовый карст в южном Дагестане. — Сб. «Сев. Кавказ». Ставрополь, 1969.

Клейнер Ю. М. Морские пещеры и карст восточного побережья Каспия. — Сб. «Спелеол. и карстоведен.». М., 1959.

Короткевич Г. В. О карстово-суффозионных формах и мерах предупреждения их развития при строительстве. — Сб. «Грунтоведение и инж. геол.». Л., 1964.

Котарба А. Вертикальные зоны поверхностных карстовых процессов в Западных Татрах (на примере северных склонов Червоных Верхов). — «Проблемы на палеогеоморфологического развитие на България», т. I. София, 1970.

Лебедев В. Г. Геоморфологические наблюдения в карстовой области провинции Гуанси. — Сб. «Спелеол. и карстоведен.». М., 1959.

Лебедев В. Г. Основные проблемы геоморфологии Восточного Китая. Саратов, 1968.

Милойевич С. М. Появы и проблемы крша, кн. 1. Београд, 1938.

Николаев Н. И. Об эволюционном развитии карстовых форм и значении структурно-тектонического фактора. — «Сов. геол.», сб. 10. М., 1946.

Щукин И. С. Опыт генетической классификации долин. «Пробл. физ. геогр.», IX, 1940.

Balázs D. Relief types of tropical karst areas. — Europ. regional conf. I.G.U. Symposium on karst-morphogenesis. Budapest—Aggtelek, 5—9 August 1971.

Bauer F. Nachiszeitliche Karstformen in den österreichischen Kalkhochalpen. — I Congr. Int. de Spéléol., Bari-Salerno, oct. 1958. (Extr. des Actes du Congr. — t. I, sect. 1).

Bögli A. Kalklösung und Karrenbildung. — «Int. Beitr. z. Karst-morphol.», «Zeitschr. f. Geomorph.», 1960, Suppl. Bd. 2.

Bögli A. Un exemple de complexe glacio-karstique. Le Schicht-treppenkarst. — «Revue Belge de Géogr.», 88 année, 1964, fasc. 1—2.

Cholley A. Evolution du relief karstique du Parmelan (Préalpes de Savoie). — «Compt. rendus de l'Acad. des Sci.», t. 177, juil.—déc. Paris, 1923.

Cholley A. et Chabot G. Notes de morphologie karstique. Du poljé de Lika au Popovo. — «Annales de Géogr.», № 219, 39 année. 15 mai, 1930.

Corbel J. Le karst du Vercors. — «Revue de Géogr. de Lyon», vol. 31, 1956, № 3.

Corbel J. Karsts Hauts-Alpins, — «Revue de Géogr. de Lyon», vol. 32, 1957, № 2.

Cuisinier L. Régions calcaires de l'Indochine. — «Annales de Géogr.», № 213, 38 année. 15 mai, 1929.

Čuijić J. Das Karstphänomen. — «Geogr. Abhandl.», Bd. V, H. 3. Wien, 1893.

Čuijić J. The evolution of lapiés. — «Geogr. Review». January 1924. New York.

Gellert J. F. Der Tropenkarst in Süd-China im Rahmen der Gebirgsformung des Landes. — Tagungsbericht u. wissenschaftl. Abhandlung. Deutsch. Geographentag Köln 22—26 Mai 1961.

Gerstenhauer A. Der tropische Kegelkarst in Tabasco (Mexico). — «Int. Beitr. z. Karstmorphol.». «Zeitschr. f. Geomorph.», 1960, Suppl. Bd. 2.

Głazek J. Kras podmorenowy Doliny Pańszczycy w Tatrach. — «Kwartalnik Geol.», t. 8, 1964, № 1. Warszawa.

Głazek J. Remarks on the development of karst morphology in the tropics and on the role of factors controlling karst development. — «Bull. de l'Acad. Polonaise des Sci.», sér. des sci géol. et géogr. Vol. 18, 1970, № 2.

Guide de l'excursion à travers le Karst Dinarique. Ljuhljana, 1955.

Kosmowska-Suffszyńska D. O genezie polji «krasowych» na podstawie badań w Jugosławii. — «Przegląd Geograficzny», t. 39, 1967, z. 3.

Louis H. Das Problem der Karst-Niveaus. — Report of the Commis. on Karst Phenom., XVIIIth Int. Geogr. Congr. Rio de Janeiro, August 9—18, 1956 a.

Louis H. Die Entstehung der Poljen und ihre Stellung in der Karst-abtragung. — «Erdkunde», Bd. 10, 1956 6, H. 1. Bonn.

Penck A. Morphologie der Erdoberfläche, teil 2. Stuttgart, 1894.

Roglić J. Zaravni na vapencima. — «Geogr. glasnik», 19. Zagreb, 1957.

Silar J. Zur Morphologie und Entwicklung des Kegelkarstes in Südchina und Nordvietnam. — «Peterin. Geogr. Mitteil.», 107 Jahrg., 1963, 1 Quartalsh.

Sunartadirdja M. A. und Lehmann H. Der tropische Karst von Maros und Nord-Bone in SW-Celebes (Sulawesi). — «Int. Beitr. z. Karstmorphol.». «Zeitschr. f. Geomorph.», 1960, Suppl. Bd. 2.

Teilhard de Chardin P., Jong C. C., Pei W. C. and Chang H. C. On the cenozoic formations of Kwangsi and Kwangtung. — «Bull. of the Geol. Soc. of China», vol. 14, 1935, № 2. Peiping.

Wissmann H. Der Karst der humiden heissen und sommer-heissen Gebiete Ostasiens. — «Erdkunde», Bd. 8, 1954, H. 4. Bonn.

К главе VI

Бачинский Г. А., Дублянский В. Н., Лысенко Н. И. История формирования Красной пещеры в свете палеозоологических данных. — «Вести. зоол.». Киев, 1967, № 4.

Васильевский П. М., Желтов П. И. Гидрогеологические исследования горы Чатырдага в 1927 г. — «Тр. Всес. геол.-разв. объедин.», вып. 142, 1932.

Гвоздецкий Н. А. Две карстовые пещеры Абхазии. — Сб. «Спелеол. и карстоведен.», М., 1959 а.

Гвоздецкий Н. А. Пещера в долине Хосты. — Там же, 1959 б.

Гвоздецкий Н. А. Карст района Кавказских Минеральных Вод. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Гвоздецкий Н. А. Типы ледяных пещер СССР. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., t. III. Ljubljana, 1968.

Дублянский В. Н. Новая карстовая шахта на Караби-яйле в Крыму. — В кн.: «Типы карста в СССР» («Тр. МОИП», т. 15). М., 1965.

Дублянский В. Н., Шутов Ю. И. Коррозионно-ливневые карстовые полости Горного Крыма. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 99, 1967, вып. 6.

Дублянский В. М. Генетичні особливості та морфологічні типи карстових порожнин УРСР. — «Географічні дослідження на Україні», вип. 2. Київ, 1970.

Иванов Б. Н. и Дублянский В. Н. Новости спелеологии Крыма. — Сб. «Спелеол. и карстоведен.», М., 1959.

Максимович Г. А. Генетический ряд натечных отложений пещер (карбонатный спелеолитогенез). — «Пещеры», вып. 5 (6). Пермь, 1965.

Максимович Г. А. О стадиях развития горизонтальных карстовых пещер в карбонатных отложениях. — «Пещеры», вып. 7 (8). Пермь, 1969.

Маруашвили Л. И. Результаты анализа морфологических особенностей карстовых пещер. — «Тезисы докл. итогов. науч. сесс. Ин-та геогр. им. Вахушти АН Груз. ССР». Тбилиси, 1967 а.

Маруашвили Л. И. Уникальная многоэтажная карстовая пещера Цуцхати в Западной Грузии. — «Сообщ. АН Груз. ССР», 46, 1967 б, № 1.

Маруашвили Л. И. Эволюция карстовых пещер. — Сб. «Советские географы XXI Междунар. геогр. конгрессу (Нью-Дели)». Тез. докл. и сообщ. М., 1968.

Маруашвили Л. И. Морфологический анализ карстовых пещер. Сб. «Очерки по физ. геогр. Грузии». Тбилиси, 1969.

Маруашвили Л. И. Стадии малого спелеоморфогенетического цикла. — «Сообщ. АН Груз. ССР», т. 59, 1970, № 3.

Маруашвили Л. И. К истории Цуцхатского (Грузия) многоэтажного пещерного комплекса. — «Сообщ. АН Груз. ССР», т. 61, 1971, № 1.

Тинтилов З. К. Анакопийская пропасть. Тбилиси, 1968.

Холидей У. Приключения под землей. М., 1963.

Якуч Л. В подземном царстве. М., 1963.

Bögli A. Corrosion par mélange des eaux. — «Intern. Journ. of Spéléol.», vol. 1, parts 1—2. Weinheim, 1964 а.

Bögli A. Die Kalkkorrosion, das zentrale Problem der unterirdischen Verkarstung. — «Steirische Beiträge zur Hydrogeol.», Jahrg. 1963/64. Graz, 1964 6.

Bögli A. Mischungskorrosion — ein Betrag zum Verkarstungsproblem. — «Erdkunde», Bd. 18, 1964 v, H. 2. Bonn.

Bögli A. Die wissenschaftliche Bedeutung des Hochsystems im Hoelloch. — Actes du 3 Congr. suisse de Spéléol., Interlaken, sept. 1967. La Chaux-de-Fonds, 1969 a.

Bögli A. Neue Anschauungen über die Rolle von Schichtfugen und Klüften in der karsthydrographischen Entwicklung. — «Geol. Rundschau», Bd. 58. Stuttgart, 1969 6.

Bögli A. Probleme unterirdischen Verkarstung. — «Probl. of the karst denudation». Brno, 1969 v.

Bögli A. Le Hölloch et son karst. Neuchâtel, 1970.

Bretz J. H. Vadose and phreatic features of limestone caverns. — «Journ. of Geol.», vol. 50, 1942, № 6.

Corbel J. Les grandes cavités de France et leurs relations avec les facteurs climatiques. — «Ann. de Spéléol.», t. 14, 1959.

Goodman L. R. Effects of blockage on soda straw stalactites. — «Cave Notes», vol. 8, 1966, № 4.

Gvozdeckij N. A. Über die Höhlenentwicklung in Kalksteinmassiven mit durch Faltung dislozierten Schichten. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., t. III. Ljubljana, 1968.

Hedges J. Mixture-solution hollows in Worden's cave, Iowa. — «Caves and Karst», vol. 9, 1967, № 5.

Jakucs L. Az Aggteleki barlangok genetikája a komplex forrásvizsgálatok tükrében. — «Karst- és Barlangkutató». 1959, Evi 1. Kötetéről. Budapest, 1960.

Jakucs L. Untersuchungen über den Dynamismus und Chemismus der Tropfsteinbildung. — «Acta Geographica», t. VI, 1966, fasc. 1—4. Szeged (Hungaria).

Jakucs L. Voraussetzungen für die Epirovarianz der Verkarstung. — «Acta Geographica», t. IX, 1969, fasc. 1—5. Szeged (Hungaria).

Martel E. A. Les Abîmes. Les eaux souterraines, les cavernes, les sources, la spéléologie. Paris, 1894.

Quinlan J. F. Central Kentucky Karst. — Actes de la Réunion Int. Karstologie Languedoc-Provence 8—12 juillet 1968. Etudes et travaux de Méditerranée, № 7, 1970.

Ryšavý P. Stagmalitová excentrika v nově objevené prostře jeskyňě č. 41B v Suchém Zlebu v Moravském krasu. — «Českoslov. Kras», roč. 19, 1967.

К главе VII

Балков В. А. Влияние карста на сток рек в разных физико-географических условиях (на примере Европейской части СССР и Северного Кавказа). (Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. д-ра геогр. наук). Пермь, 1966.

Брашника И. А. О возможности изучения субмаринной разгрузки карстовых вод электрокаротажными методами. — «Новости карстоведен. и спелеол.», № 3. М., 1963.

Владимиров Л. А. Питание рек и внутригодовое распределение речного стока на территории Грузии. Тбилиси, 1964.

Гаврилович Д. Интермитентни извори у Југославији. — «Гласн. Српск. геогр. друштва», Св. 47, 1967, бр. 1. Београд.

Гвоздецкий Н. А. Карстовые явления в Приангарье. — «Уч. зап. Моск. ун-та», вып. 160, геогр., т. V, 1952.

Гвоздецкий Н. А., Спиридонов А. И. Карст Муромско-Павловского правобережья реки Оки. — «Землеведен.», нов. сер., т. 9 (49). М., 1971.

Кикнадзе Т. З. Гидрогеологические особенности развития карста на массиве Арабика (Кавказ, Западная Грузия). — «Пещеры Грузии», сб. 3. Тбилиси, 1965.

Куделин Б. И., Карпова В. П. Влияние карста на закономерности формирования подземного стока. — «Вестн. Моск. ун-та», сер. геол., 1968, № 2.

Маркова О. Л. Сток карстовых рек Восточно-Европейской равнины (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Л., 1967.

Петрович Д. и Гаврилович Д. Крашки рельеф окрестности Београда. — «Зб. радова Геогр. ин-та», св. VII. Београд, 1960.

Подземный сток на территории СССР. Под ред. проф. Б. И. Куделина. М., 1966.

Поршняков С. О карстовых явлениях на Валдайской возвышенности. — «Изв. Гос. геогр. об-ва», т. 71, 1939, вып. 10.

Щукин И. Очерки геоморфологии Кавказа, ч. 1. Большой Кавказ. — «Тр. НИИ Геогр. 1-го МГУ», вып. 2. М., 1926.

Gavrilović D. Intermittierende Quellen in Jugoslawien. — «Die Erde». Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin. 101 Jahr., 1970, H. 4.

Maurin V. Die submarinen Karstquellen und Höhlen an den Küsten des Mittelmeeres und ihr Zusammenhang mit den eustatischen Meeresspiegelschwankungen. — «Summar. of Lectures Int. Conf. of Speleol.». Врпо, 1964.

Petrik M. Mjerna na Vruljama. — 11 Jugosl. Speleol. Kongr. (Split, 1958). Zagreb, 1961.

Roglić J. Odnos morske razine i cirkulacije vode u kršu. — 11. Jugosl. Speleol. Kongr. (Split, 1958). Zagreb, 1961.

К главе VIII

Агошков А. К. «Каменный лес». Карст Юньнаньского нагорья Китая. — «Природа», 1961, № 9.

Белж В. И. Морфолитогенезис карбонатных отложений вершинного пояса горных стран в условиях многолетней мерзлоты (на примере западной части Восточного Саяна). — Сб. «Вопросы морфолитогенезиса в вершинном поясе горных стран». Чита, 1968.

Бушинский Г. И. Карст, содержащий бокситоносные отложения. — Сб. «Типы карста в СССР» («Тр. МОИП», т. 15). М., 1965.

Гвоздецкий Н. А. Карстовые области Большого Кавказа. — «Тезисы докл. Пермск. карстов. конф.», Пермь, 1947.

Гвоздецкий Н. А. Опыт районирования карста Большого Кавказа. — «Геогр. сб. Геогр. об-ва СССР» № 1. М.—Л., 1952 а.

Гвоздецкий Н. А. Карстовые явления в Приангарье. — «Учен. зап. МГУ», сер. геогр., т. V, вып. 160, 1952 б.

Гвоздецкий Н. А. О распространении карстовых явлений в пустынях и горах Средней Азии. — «Вопр. геогр.», сб. 40. М., 1957.

Гвоздецкий Н. А. К вопросу о распространении и особенностях

карста в горах Средней Азии. — «Землеведение», нов. сер., т. 5 (15). М., 1960.

Гвоздецкий Н. А. Вопросы типологии и классификации карста СССР. — Сб. «Типы карста в СССР» («Тр. МОИП», т. 15). М., 1965 а.

Гвоздецкий Н. А. Типы карста Северного Кавказа. — Там же, 1965 б.

Гвоздецкий Н. А. Карст Кавказа в сопоставлении с карстом других горных областей СССР. — «Сообщ. АН Груз. ССР», т. 39, 1965 в, № 1.

Гвоздецкий Н. А. Тектонические трещины и сила бортового отпора. — «Вест. Моск. ун-та», геогр., 1966, № 4.

Гвоздецкий Н. А. Распространение карстовых явлений на земном шаре и вопросы их типологии. — «Землеведение», нов. сер., т. 7 (47). М., 1967 а.

Гвоздецкий Н. А. Карст междуречья Малки и Гунделена (Северный Кавказ). — Там же, 1967 б.

Гвоздецкий Н. А. Особенности развития карста в горах. — «Вопр. геогр.», сб. 74. М., 1968.

Геллерт И. Ф. Тропический башенный и конический карст. — «Вест. Моск. ун-та», геогр., 1966, № 5.

Годлевский М. Н. Очерки по минералогии боратовых месторождений Индерского района. — «Зап. Всерос. мин. об-ва», 2-я сер., ч. 66, 1937, вып. 2.

Дзекс-Литовский А. И. Карст соляных месторождений СССР. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 72, 1940, вып. 6.

Дублянский В. Н. О роли снега в закарстовывании и питании карстовых вод. — «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1963, № 2.

Дублянский В. Н., Смольников Б. М. Карстолого-геофизические исследования карстовых полостей Приднестровской Подолины и Илокутья. Киев, 1969.

Дубовик В. Н. Останцовый карст Челябинской области. — «Сб. статей по краевед. и истор. географии». Челябинск, 1963.

Дубянский А. Ископаемый карст среди верхнемеловых отложений. — «Бюлл. МОИП», отд. геол., т. 15, 1937, вып. 4.

Зенкович В. П., Каплин П. А. Подводные геоморфологические исследования на Далматинском побережье. — «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1965, № 3.

Зубащенко М. А. Закрытый или восточноевропейский тип карста. — «Тезисы докл. науч. конф. геогр. ф-та Воронежск. гос. пед. ин-та», янв. 1947.

Кипиани Ш. Я. О геоморфологических типах карста Грузии. — «Карст и пещеры Грузии». Тбилиси, 1965.

Коржуев С. С. Карст Якутии. — Сб. «Типы карста в СССР» («Тр. МОИП», т. 15). М., 1965.

Кузнецов Ю. Я. Плато Усгурт как пример карстовой области пустыни. — Сб. «Типы карста в СССР» («Тр. МОИП», т. 15). М., 1965.

Лыкошин А. Г. Трещины бортового отпора. — «Бюлл. МОИП», отд. геол., т. 28, 1953, вып. 4.

Максимович Г. А. Условия развития карбонатного и сульфатного карста. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотно в карстов. р-нах». М., 1968.

Маруашвили Л. Н. Географические черты высокогорного карста

Западной Грузии. — «Изв. АН Аз. ССР», сер. геол.-геогр., 1961, № 2.

Мгеладзе К. Г. Физико-географическое районирование [Абхазии] — В кн.: *Н. С. Куфтырева, Ш. В. Лашихия, К. Г. Мгеладзе.* Природа Абхазии. Сухуми, 1961.

Меншинг Х. Между Рифом и Дра. М., 1957.

Милюков Ф. Н. К географии и морфологии активного мелового карста на юге Среднерусской возвышенности. — «Изв. Воронежск. отд. Геогр. об-ва СССР», вып. 1, 1957.

Милюков Ф. Н. Мержельный и меловой карст Среднерусской возвышенности. — Сб. «Типы карста в СССР» («Тр. МОИП», т. 15). М., 1965.

Овчинников А. М. Минеральные воды. М.—Л., 1947.

Олли Е. И. Карст хребта Большой Каратау. — «Бюлл. МОИП», отд. геол., т. 33, 1958, вып. 3.

Пармузин Ю. П. Распространение и особенности карста Сибири. — «Бюлл. МОИП», отд. геол., т. 28, 1953, вып. 4.

Пармузин Ю. П. Вопросы карстования Сибири. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 86, 1954, вып. 1.

Русанов Б. Д. О некоторых редких формах карста. — В кн.: «Вопросы механики и термике водотоков, методики расчетов стока и др. вопр. гидролог., гидрогеол. и гидрофиз.» («Тр. Ленингр. гидромет. ин-та», вып. 13). Л., 1962.

Рухин Л. Б. Климаты прошлого. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 87, 1955, вып. 1.

Рухин Л. Б. Проблема происхождения материковых оледенений. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 90, 1958, вып. 1.

Соколов Н. И. Бархатовский карст. — «Вопр. геогр.», сб. 40. М., 1957.

Соколов Н. И. Типологическая классификация карста. — «Мат-лы Комисс. по изуч. геол. и геогр. карста». — Информ. сб. № 1. М., 1960.

Ступишин А. В. Вопросы терминологии и классификации в карстоведении. — «Учен. зап. Казанск. ун-та», т. 113, кн. 2. География, 1953.

Ступишин А. В. Карст Среднего Поволжья (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. д-ра геогр. наук). М., 1956.

Ступишин А. В. Вопросы палеогеографии карста на примере Среднего Поволжья. — Сб. «Землеведение», нов. сер., т. 5 (45). М., 1960.

Тушинский Г. К. Космос и ритмы природы Земли. М., 1966.

Чикишев А. Г. Карст в бассейне реки Чусовой на западном склоне Среднего Урала. — Сб. «Региональное карстование». М., 1958.

Чикишев А. Г. Типы карста Русской равнины. — Сб. «Типы карста в СССР» («Тр. МОИП», т. 15). М., 1965.

Чикишев А. Г. Карст Подолья. — Сб. «Землеведение», нов. сер., т. 8 (48). М., 1969.

Якушова А. Ф. Карст палеозойских карбонатных пород на Русской равнине. — «Учен. зап. МГУ», геол., т. III, вып. 136, 1949.

Яцкевич З. В. Материалы к изучению карста Индерского поднятия. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 69, 1937, вып. 6.

Bauer F. Nacheiszeitliche Karstformen in den österreichischen Kalkhochalpen. — Congr. Int. de Spéléol. Bari-Salerno, oct. 1958, (Extr. des Actes du Congr. — t. I, sect. I).

Bauer F. Kalkabsätze unter Kalkalpengletschern und ihre Bedeutung für die Altersbestimmung heute gletscherfrei werden der Karrenformen. — «Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie», Bd. IV, 1961, H. 3.

Bauer F. Kalkabtragungsmessungen in den österreichischen Kalkhochalpen. — «Erdkunde», Bd. 18, 1964, H. 2. Bonn.

Bleahu M. Formations périglaciaires et karst dans les monts de Bihor. — «Revue Roumaine de Géologie, Géophysique et Géographie», sér. de Géographie, t. 10, 1966, № 1.

Bögli A. Un exemple de complexe glacio-karstique. Le Schichttrep-penkarst. — «Revue Belge de Géogr.», 88 année, 1964, fasc. 1-2.

Chabot G. Récents progrès de l'étude des phénomènes karstiques. — «Annales de Géographie», № 192, 34 année, 15 nov. 1925.

Corbel J. Karsts Hauts-Alpins. — «Revue de Géographie de Lyon», vol. 32, 1957, № 2.

Cuisinier L. Régions calcaires de l'Indochine. — «Annales de Géographie» № 213, 38 année, 15 Mai, 1929.

Čuijić J. Types morphologiques des terrains calcaires. Le Holo-karst. — «Compt. rend. Acad. Sci.», t. 180, 1925.

Gellert J. F. Der Tropenkarst Süd-China im Rahmen der Gebirgsformung des Landes. — Tagungsbericht u. wissenschaftl. Abhandlung. Deutsch. Geographentag Köln 22–26 Mai, 1961.

Guide de l'excursion à travers le Karst Dinarique. IV Congr. Intern. de Spéléol. en Yougoslavie. Ljubljana, 1965.

Gvozdeckij N. A. Types of karst in the U.S.S.R. — «Problems of the Speleological Research». Prague, 1965.

Gvozdeckij N. A. Bedeckter Karst in der UdSSR. — «Erdkunde», Bd. 18, 1964, H. 2. Bonn.

Jakucs L. Eine neue Erklärung der Denudations vorgänge und Morphogenetik der Karstlandschaften. — «Acta Geographica», t. VII, 1967, fasc. 1–6. Szeged (Hungaria).

Jakucs L. Szempontok a karsztos tájak denudációs folyamatainak és morfológiájának értékeléséhez. — «A földrajzi értesítő, XVII, Ertölyam 1, Füzetéböl. Budapest, 1968.

Kiknadze T. Z. Some conditions affecting the karst development in the Arabika massif (Caucasus, Western Georgia), — «Problems of the speleol. research». Prague, 1965.

Sawicki L. Ein Beitrag zum geographischen Zyklus im Karst. — «Geogr. Zeitschr.», 1909, H. 4, 5.

Sekyra J. K problematice krasu Středni Asie. — «Československý Kras», roč. 16, 1964.

Sitar J. Zur Morphologie und Entwicklung des Kegelkarstes in Sirdchina und Nordvietnam. — «Peterm. Geogr. Mitteil.», 107 Jahr., 1963, 1 Quartalsh.

Silvestri P. I fenomeni carsici della Val Toggia ed i dissesti subiti dalla diga del bacino idroelettrico del Kastel. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougoslavie, t. III. Ljubljana, 1968.

Tesarík K. Krasové jevy v horách a pouštích Středni Asie. — «Československý Kras», roč. 11, 1958.

Verstappen H. Th. Karst morphology of the Star Mountains (Central New Guinea) and its relation to lithology and climate. — «Zeitschr. f. Geomorph.», Bd. 8, 1964, H. 1.

Wagner G. Der Karst als Musterbeispiel der Verkarstung. — «Aus Heimat», 62, 1954, № 9/10.

К главе IX

Вологодский Г. П. Районирование карста Южного Приангарья. — «Тр. II совещ. по подз. водам и инж. геологии Вост. Сибири», вып. III. Иркутск, 1959.

Вологодский Г. П. Карст Южного Приангарья. — В кн.: О. В. Павлов, Г. П. Вологодский, Ф. Н. Лешиков. Инж.-геол. особ. Приангарск. пром. р-на и их значен. для строит-ва. М., 1965.

Гвоздецкий Н. А. Опыт районирования карста Большого Кавказа. — «Геогр. сб. I, Геогр. об-во СССР». М.—Л., 1952.

Гвоздецкий Н. А. Вопрос о зональности карстовых явлений в новых работах зарубежных географов. — «Вопр. геогр.», сб. 36. М., 1954.

Гвоздецкий Н. А. О распространении карстовых явлений в пустынях и горах Средней Азии. — «Вопр. геогр.», сб. 40. М., 1957.

Гвоздецкий Н. А. Вопросы географического районирования карста на территории СССР. — В кн.: «Общие вопросы карстоведен.». М., 1962.

Гвоздецкий Н. А. Типы карста Северного Кавказа. — В кн.: «Типы карста в СССР» («Тр. МОИП», т. 15). М., 1965.

Гвоздецкий Н. А. и Чикишев А. Г. Районирование карста Русской равнины. — Сб. «Вопр. изуч. карста Русск. равнины». М., 1966.

Горбунова К. А. Районирование карста Пермской обл. — «Тезисы докл. на совещ. по изуч. карста», вып. 16. М., 1956.

Еременко Н. М. Карст восточной половины северного склона Большого Кавказа (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). М., 1971.

Иванов Б. Н. О типологии карстового рельефа равнин на примере Подольско-Буковинской карстовой области. — Сб. «Вопр. карста на юге Европ. части СССР». Ялта, 1956.

Иванов Б. Н. Карстологические съемки и изучение режима поверхностных и подземных вод в карстовых районах Украины и Молдавии. — «Вопр. гидрогеол. и инж. геол. Украины», вып. 3. М., 1971.

Костин П. А. Карст Передового хребта и полосы куэст Северо-Западного Кавказа (автореф. дисс. на соиск. учей. степ. канд. геогр. наук). М., 1966.

Крюков А. С. Географическое распространение и особенности проявления карстовых процессов в Горном Алтае. — «Изв. Алтайск. отд. Геогр. об-ва СССР», вып. 3. Горно-Алтайск, 1963.

Кудряшов И. К. Районирование карста Башкирии. — «Мат-лы VI Всеуральск. совещ. по вопр. геогр. и охраны прир.». Уфа, 1961.

Лилиенберг Д. А. Карстовые районы и пещеры Дагестана. — Сб. «Спелеол. и карстоведен.». М., 1959.

Лушников В. А. Районирование карста Башкирии. — «Уч. зап. Пермск. ун-та», т. 10, вып. 2, 1956.

Максимович Г. А. Районирование карста СССР. — «Докл. IV Всеуральск. совещ. по физ.-геогр. и экон.-геогр. райониров.», Пермь, 1958 а.

Максимович Г. А. Районирование карста Урала и Приуралья. — Там же, 1958 б.

Максимович Г. А. Распространение и районирование карста СССР. — «Гидрогеол. и карстоведен.», вып. 1. Пермь, 1962 а.

Максимович Г. А. Тектонические закономерности распределе-

ния карста на территории СССР. — В кн.: «Общие вопросы карстологии». М., 1962 б.

Максимович Г. А., Горбунова К. А. Типы карста Урала. — В кн.: «Типы карста в СССР» («Тр. МОИП», т. 15). М., 1965.

Маруашвили Л. И. Опыт географической и спелеологической характеристики карстовой полосы Западной Грузии. — Сб. «Пещеры Грузии», т. I. Тбилиси, 1963.

Пармузин Ю. П. Вопросы карстологии Сибири. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 86, 1954, вып. I.

Ступишин А. В. Карст Среднего Поволжья (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. д-ра геогр. наук). М., 1956.

Физико-географическое районирование СССР. М., 1968.

Чикишев А. Г. Карст Среднего Урала и его народнохозяйственное значение. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Чикишев А. Г. Районирование подземных карстовых форм Урала. — «Землеведение», нов. сер., т. 7 (47). М., 1967.

Чикишев А. Г. Особенности глубинного карста и спелеологическое районирование Урала. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougoslavie, t. III. Ljubljana, 1968.

Чикишев А. Г. Карст Подолии. — «Землеведение», нов. сер., т. 8 (48). М., 1969.

Balázs D. Karst regions in Indonesia. — «Karszt- és barlangkutató», vol. V. Ann. course 1964—1967. Budapest, 1968.

Kosack H. P. Verbreitung der Karst- und Pseudokarsterscheinungen über die Erde. Ein Beitrag zur Karstforschung und -hydrographie. — «Petermanns Geogr. Mitteil.», 96 Jahrg., 1952, 1 Quartalsheft.

К главе X

Абдулжабаров М. А. Карст Зеравшанских гор (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Пермь, 1965.

Абдулжабаров М. А. Пещеры Туркестанского хребта в пределах УзССР. — «Матер. республ. науч. конф. по пробл. изуч. и использ. прир. ресурс. Узбекистана». Самарканд, 1968.

Альбов С. В. О водоносности и карсте рифовых образований в Крыму. — «Бюлл. МОИП», отд. геол., т. 43, 1968, вып. 3.

Бачинский В. А., Дублянский В. Н. О времени и палеогеографической обстановке образования глубинных карстовых полостей Крыма. — «Прир. обстановка и фауны прошл.», вып. 4. Киев, 1968.

Бачинский Г. А., Дублянский В. Н., Лысенко Н. И. История формирования Красной пещеры в свете палеозоологических данных. — «Вести. зоол.», Киев, 1967, № 4.

Беляк В. И. Карст приенисейской части Восточного Саяна и его ландшафтообразующая роль (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Иркутск, 1967.

Беляк В. И. Подземный карст приенисейской части Восточного Саяна. — «Регион. геоморф. Сибири и Д. В.», Л., 1969.

Беляк В. И., Хорюших П. П. Пещеры южной части западного побережья оз. Байкал и с. Ольхон. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 102, 1970, вып. 4.

Богданович Е. Д., Кудряшов И. К. Об этажности строения Каповой пещеры. — «Сов. археол.», 1966, № 4.

Вологодский Г. П. Карст Южного Приангарья. — В кн.:

О. В. Павлов, Г. П. Вологодский, Ф. Н. Лещиков. Инж.-геол. особ. Приангарск. пром. р-на и их значен. для строит-ва. М., 1965.

Вологодский Г. П. Карст. — В кн.: «Инж. геол. Прибайкалья». М., 1968.

Вопросы изучения карста Русской равнины. М., 1966.

Гаврилович Д. Снежинце на Ловчену. — «Зб. радова Географског. ин-та», св. X. Београд, 1963.

Гаврилович Д. Интермитентни извори у Југославији. — «Гласник Српског геогр. друштва», св. 47, 1967, № 1, Београд.

Газизов М. С. О классификации карстовых образований в Прибалтийском сланцевом бассейне. — Сб. «Добыча и переработка горюч. сланцев», вып. 14. Л., 1965.

Гаустов И. Боргустанские провалы. — «Природа», 1969, № 4.

Гвоздецкий Н. А. Карст Кавказа в сопоставлении с карстом других горных областей СССР. — «Сообщ. АН Груз. ССР», т. 39, 1965, № 1.

Гвоздецкий Н. А. Карст междуречья Малки и Гунделена (Северный Кавказ). — «Землеведение», июл. сер., т. 7 (47). М., 1967 а.

Гвоздецкий Н. А. Распространение карстовых явлений на земном шаре и вопросы их типологии. — Там же, 1967 б.

Гвоздецкий Н. А. Распространение и особенности карстовых явлений на земном шаре. — Сб. «Проблемы планетарной географии». М., 1969.

Гвоздецкий Н. А. Международный карстоведческий симпозиум и научные экскурсии по карсту южной Польши. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 102, 1970, вып. 3.

Гвоздецкий Н. А. Новые данные о карсте Алтая. — «Геоморфология», 1972, № 1.

Геллерт И. Ф. Тропический башенный и конический карст. — «Вести. Моск. ун-та», сер. V, геогр., 1966, № 5.

Гергедава Б. А. Комплексная характеристика природных условий пещер Однши (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Тбилиси, 1968.

Головцин В. Н., Смольников Б. М., Дублянский В. Н., Иванов Б. Н. Применение геоэлектрических исследований к решению основных проблем карста Горного Крыма. Киев, 1966.

Гуслицер Б. И. и Канивец В. И. Пещеры Печерского Урала. М.—Л., 1965.

Дублянский В. Н. Возраст глубинных карстовых полостей Горного Крыма. — «Пещеры», вып. 6 (7). Пермь, 1966.

Дублянский В. Н. Глубинный карст Украинских Карпат и их северного обрамления. — Karpat-Balk. Geol. Assoc., VIII kongres. inž. geol. i hidrogeol., geof., t. III. Beograd, 1967.

Дублянский В. Н. Крупнейшие карстовые пещеры и шахты СССР. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 101, 1969, вып. 1.

Дублянский В. Н., Гончаров В. П. В глубинах подземного мира. Симферополь, 1970.

Дублянский В., Зеленин Г. Чудеса подземного мира. Симферополь, 1965.

Дублянский В. Н., Смольников Б. М. Карстолого-геофизические исследования карстовых полостей Приднестровской Подолии и Подкутья. Киев, 1969.

Дублянский В. Н., Шутов Ю. И. Коррозионно-нивальные карстовые полости Горного Крыма. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 99, 1967, вып. 6.

Дублянський В. М. Генетичні особливості та морфологічні типи карстових порожнин УРСР. — «Географічні дослідження на Україні», вип. 2. Київ, 1970.

Дублянський В. М., Шутов Ю. І. Походження та гідрогеологічні особливості глибинних карстових порожнин Українських Карпат. — «Природні умови та природні ресурси Українських Карпат». Київ, 1968.

Дьячков А. Б. Карст Центрального Казахстана (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук). М., 1965.

Еременко Н. М. Карст восточной половины северного склона Большого Кавказа (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). М., 1971.

Зенкина С. М., Мелешин В. П. О характере закарстования и связанных с ним типах рельефа плато Горного Крыма. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 99, 1967, вып. 2.

Зубашенко М. А. Опыт геоморфологического районирования территории Северного Вьетнама. — «Вопр. физ. геогр. заруб. стран» («Изв. Воронеж. гос. пед. ин-та», т. 56). Воронеж, 1967.

Иванов Б. Н. Современные методы комплексного изучения карста при проектировании и строительстве мелиоративных и гидро-энергетических систем (на примере Югославии). — Минист. геол. СССР. Обзор, сер.: «Гидрогеол. и инж. геол.», № 9. М., 1969.

Карст и пещеры Грузии. Спелеологи Грузии к IV Международному спелеологическому конгрессу в Югославии. Тбилиси, 1965.

Карст Казахстана (объяснит. записка к карте закарстов. пород и карстов. явлен.). — «Тр. ВСЕГИНГЕО», нов. сер., № 19, М., 1967.

Кикнадзе Т. Пропасти Арабики. Тбилиси, 1967.

Кикнадзе Т. З. Гидрогеологические условия развития карста массива Арабики (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук). Пермь, 1971.

Кипиани Ш. Я., Тинтилов З. К., Окроджанашвили А. А., Джишкарцани В. М. Кадастр карстовых пещер Грузии. Тбилиси, 1966.

Колодяжная А. А. Карст флишевой формации юго-западного склона Кавказа. М., 1965.

Коржуев С. С. Карст и многолетняя мерзлота. — Сб. «Советск. иссл. карста за 50 лет». М., 1967.

Короткевич Г. В. Гидрогеологические условия и карст Солотвинского соляного купола. — Сб. «Гидрогеол. солян. месторожд. и минер. воды» («Тр. ВНИИГ», вып. 46). Л., 1964.

Костин П. А. Карст Передового хребта и полосы куэст Северо-Западного Кавказа (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). М., 1966.

Красненков Р. В. Опыт районирования древнего мелового карста восточной окраины Среднерусской возвышенности. — «Бюлл. МОИП», отд. геол., т. 43, 1968, № 5.

Кротова Е. А. Геологическая деятельность поверхностных и подземных вод Пермской обл. (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-минер. наук). Пермь, 1971.

Крюков А. С. Географическое распространение и особенности проявления карстовых процессов в Горном Алтае. — «Изв. Алт. отд. Геогр. об-ва СССР», вып. 3. Горно-Алтайск, 1963.

Кудряшов И. К. Путеводитель по Каповой пещере. Уфа, 1969.

Лаптева Н. Н. Карст Марийской АССР (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Казань, 1967.

Лебедев В. Г. Основные проблемы геоморфологии Восточного Китая. Саратов, 1968.

Максимович Г. А. Карст Австралии. — «Гидрогеол. и карстоведен.», вып. 1. Пермь, 1962 а.

Максимович Г. А. Карст Южной Америки. — Там же, 1962 б.

Максимович Г. А. Карст Африки. — «Гидрогеол. и карстоведен.», вып. 2. Пермь, 1964.

Максимович Г. А., Рубель Р. Б. На земле и под землей. Свердловск, 1966.

Маматов А. Карст горной части левобережья реки Кашкадарья (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Баку, 1968.

Маринин А. М. Карстовые формы рельефа у поселка Белый Бом на Алтае. — «Иссл. и методич. работы по геогр. и геол. наукам» («Матер. зональн. совещ. при Усть-Каменогорск. пед. инст.»). Вып. 2. Алма-Ата, 1966 а.

Маринин А. М. Карстовые явления в бассейнах рек Камышлы и Сарасы. — «Вопр. геол. и геоморф. Зап. Сибири». Барнаул, 1966 б.

Маруашвили Л. И. Уникальная многостаянная карстовая пещера Цуцхвати в Западной Грузии. — «Сообщ. АН Груз. ССР», т. 46, 1967, № 1.

Мелеших В. П. Поверхностные формы карста в Степном Крыму. — «Землеведение», нов. сер., т. 8 (48). М., 1969.

Мелеших В. П. Карстопоявления в верхней карбонатной толще неогена равнинного Крыма. — Сб. «Вопр. гидрогеол. и инж. геол. Украины», вып. 3, М., 1971.

Муrzaев Э. Путешествие в жаркую зиму. М., 1967.

Мусин А. Г. Карст Бугульминско-Белебеевской возвышенности (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Казань, 1966.

Нуньес Хименес А. География Кубы. М., 1969.

Очерки по физической географии г. Уфы и его окрестностей («Учен. зап. Баш. гос. ун-та», вып. 37, сер. геогр., № 3). Уфа, 1969.

Петрович Д. и Гаврилович Д. Крашки рельефа окрестности Београда. — «Зб. радова Геогр. ин-та», св. 7. Београд, 1960.

Пещеры Грузии. — Спелеол. сб. 3 и 4. Тбилиси, 1965, 1966.

Попов Вл., Зяпков Л., Трантеев П. Карстова морфология и карстова гидрология в България. — «Проблеми на географията в НР България». София, 1964.

Полов И. В. Инженерная геология СССР, ч. II. Европейская часть СССР. М., 1965.

Потапова Г. М. Карст южного Мангышлака и Устюрта (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Алма-Ата, 1971.

Радзиевский В. А. Пещера Озерная. — «Землеведение», нов. сер., т. 7 (47). М., 1967.

Русанов Б. Д. О некоторых редких формах карста. — «Вопр. механики и термике водоток., методики расч. стока и др. вопр. гидрол., гидрогеол. и гидрофиз.» («Тр. Лен. гидромет. ин-та», вып. 13). Л., 1962.

Русанов Б. С., Бороденкова З. Ф., Гончаров В. Ф., Гриненко О. В., Лазарев П. А. Геоморфология Восточной Якутии. Якутск, 1967.

Северный Кавказ. Ставрополь, 1969.

Тимофеев Е. М. История и закономерности развития карбонат-

ного карста районов проектируемых гидротехнических сооружений в бассейнах Печоры, Вычегды и Камы, как основа их инженерно-геологического изучения (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-минер. наук). М., 1968.

Тинтилов З. К. Краткий спелеографический очерк Дурипшского плато. — «Пробл. геогр. Грузии». Тбилиси, 1965.

Тинтилов З. К. Алакопийская пропасть. Тбилиси, 1968.

Тинтилов З. К. Гипсометрический фактор пещерообразования в горных странах (на примере карстовой полосы Зап. Грузии). — «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1970, № 5.

Тинтилов З. К., Чангашвили Г. З., Окроджинашвили А. А. Карстово-спелеологические черты известнякового массива Арабика. — «Пробл. геогр. Грузии». Тбилиси, 1965.

Типы карста в СССР («Тр. МОИП», т. 15). М., 1965.

Торсуев Н. П. Распространение карста на севере Русской равнины. — «Геогр. сб.», вып. 3. Казань, 1967.

Тупотилова А. Н. Некоторые данные о распространении и морфологии карста в Горном Алтае. — «Изв. Алт. отд. Геогр. об-ва СССР», вып. 6. Барнаул, 1965.

Тупотилова А. Н. Карст палеозойских карбонатных пород в Горном Алтае. — «Пробл. геоморф. и неотектон. ороген. областей Сибири и ДВ», т. II. Новосибирск, 1968.

(Хабе Ф.). Постоянна. Београд, 1965.

Хейнсалу Ю. Особенности строения и развития карстового участка Ухаку в северо-восточной Эстонии. — «Изв. АН ЭСТ ССР», т. 19, хим., геол., 1970, № 3.

Черных В. А., Юшкин Н. П. Карстовые процессы и формы рельефа в Большеземельской тундре. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 99, 1967, вып. 1.

Черняева К. П. Карст Северо-Западного Алтая (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Томск, 1967.

Чикишев А. Г. Крупнейшая карстовая пещера Урала. — В кн.: «Пробл. физ. геогр. Урала» («Тр. МОИП», т. 18). М., 1966.

Чикишев А. Г. Районирование подземных карстовых форм Урала. — «Землеведение», нов. сер., т. 7 (47). М., 1967.

Чикишев А. Г. Особенности глубинного карста и спелеологическое районирование Урала. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. ep Yougosl., t. III. Ljubljana, 1968.

Чикишев А. Г. Карст Подолии. — «Землеведение», нов. сер., т. 8 (48). М., 1969.

Absolon K. Moravsky Kras, 2. Praha, 1970.

Aley T. Hydrology of a karst watershed in the Missouri Ozarks. — «Caves and karst», vol. 10, 1968, N 6.

Balázs D. Karst regions in Indonesia. — «Karszt- és barlangkutatás», vol. V. Ann. course 1964—1967. Budapest, 1968.

Balázs D. Über die Untersuchung tropischer Karstwässer in der Indonesischen Inselwelt. — «Livre du centenaire Emile G. Racovitza 1868—1968». Bucarest, 1970.

Batsche H., Bauer F. u. and. Vergleichende Markierungsversuche im Mittelsteirischen Karst 1966. — «Steirische Beiträge zur Hydrogeol.», Jahrg. 1966/67. Graz, 1967.

Bleahu M., Rusu T. Carstul din România. — Lucrările Institutului de Speologie «Emil Racoviță», t. IV. București, 1965.

Bögli A. Scientific research in the Höfloch, the longest cave of the world. — «Probl. of the speleol. research». Prague, 1965.

Bögli A. Karstwasserfläche und unterirdische Karstniveaus. — «Erdkunde», Bd. 20, 1966, Lfg. 1. Bonn.

Bögli A. Präglazial und präglaziale Verkarstung im hinteren Muotatal. — «Regio Basiliensis», 1968, H. IX/1.

Bögli A. Das Hölloch im Muotatal. Schwyz, 1969.

Brandecker H., Maurin V. u. Zötl J. Hydrogeologische Untersuchungen und baugelogeologische Erfahrungen beim Bau des Diessbach-Speichers (Steinernes Meer). — «Steirische Beiträge zur Hydrogeologie», Graz, 1965.

Brown R. F. and Lambert T. W. Reconnaissance of ground-water resources in the Mississippian Plateau region of Kentucky. U. S. Geol. Surv. Water-Supply Paper 1603. 1963.

Coleman J. C. The caves of Ireland. Tralee, 1965.

Conrad G., Gèze B., Paloc H. Observations sur des phénomènes karstiques et pseudo-karstiques du Sahara. — «Revue de géogr. phys. et de géol. dynamiques», vol. IX, 1967, fasc. 5. Paris.

Conrad G., Gèze B., Paloc H. Phenomenes karstiques et pseudo-karstiques du Sahara. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., vol. III. Ljubljana, 1968.

Droppa A. Vysokohorské krasové oblasti CSSR. — «Ceskoslov. Kras», roč. 19, 1967.

Gams I. H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskimi, Planinskimi in Cerkniškimi polji. — «Geogr. vestn.», 37. Ljubljana, 1965.

Gams I. Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kameninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa. — «Geogr. vestn.», 38. Ljubljana, 1966 a.

Gams I. K hidrologiji ozemlja med Postojnskimi, Planinskimi in Cerkniškimi polji. — «Acta carsologica», IV. Ljubljana, 1966 6.

Gavrilović D. Ein Beitrag zur Kenntnis des Karstes in Serbien. — «Naše jame», VII. Ljubljana, 1965.

Gavrilović D. Najveći speleološki objekti u Jugoslaviji i u svetu. — «Naše jame», VIII. Ljubljana, 1966.

Gavrilović D. Kegelkarst-Elemente im Relieff des Gebirges Beljanica (Jugoslawien). — «Probl. of the karst denudation». Brno, 1969.

Gavrilović D. Intermittierende Quellen in Jugoslawien. — «Die Erde», 101. Jahrg., 1970, H. 4. Berlin.

Gèze B. Observations spéléologiques dans le Pacifique. — «Spelunca Mémoires», 1963, №3.

Gèze B. Rapports entre phenomenes karstiques et phenomenes geologiques dans le Sud de la France. — III Int. Congr. für Speläologie, Bd. V. Wien, 1966.

Gèze B. Observations sur le réseau du Hölloch (Muotathal, canton de Schwyz, Suisse). — «Annales de spéléologie», t. 23, 1968, fasc. 2.

Glazek J. On the karst phenomena in North Vietnam. — «Bull. de l'Acad. Polonaise des Sci.», sér. des sci. géol. et géogr., vol. 14, 1966, № 1.

Glazek J. Some observations on karst phenomena in North Vietnam. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., t. III. Ljubljana, 1968.

Guide de l'excursion à travers le Karst Classique. Ljubljana, 1965.

Guide de l'excursion à travers le Karst Dinarique. Ljubljana, 1965.

Habič P. Poljska jama, Kat. št. 3000. — «Naše jame», IX/1967.

Habič P. Kraški svet med Idrijco in Vipavo. Ljubljana, 1968.

Habič P. Hidrografska rajonizacija krasa v Sloveniji. — «Krš Jugoslavije», knj. 6. Zagreb, 1969 a.

Habič P. Javorniški podzemeljski tok in oskrba Postojne z vodo. — «Naše jame», 10/1968. Ljubljana, 1969 b.

Habič P. Pološka jama—najgloblja v Jugoslaviji. — «Naše jame», 12, 1970.

Habič P. Intermitentni kraški izvir Lintvern pri Vrhniku. — «Acta carsologica», V/5. Ljubljana, 1970.

Hedges J. A vertical shaft beneath cherty limestone caprock at Dutton's caves, Iowa. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., t. III. Ljubljana, 1968.

Jakucs L. Offene Fragen der morphogenetischen Deutung nach Plateauniveaus des Karlsformschatzes des Nord-Borsoder Karstes. — «Acta geographica», t. VIII, 1968, fasc. 1—5. Szeged (Hungaria).

Jennings J. N. Karst of the seasonally humid tropics in Australia. — «Probl. of the karst denudation». Brno, 1969.

Kosack H. P. Die Verbreitung der Karst- und Pseudokarsterscheinungen über die Erde. — «Peterm. Geogr. Mitteil.», 96 Jahr., 1952, I Quartalsh.

Kunaver J. The high mountainous karst of the Julian Alps in the system of Alpine karsts. Europ. regional conf. I. G. U. Symposium on karst-morphogenesis. Budapest—Aggtelek, 5—9 August 1971.

Kužvart M., Neužil J. Příspěvek k poznání drobných krasových jevu na území Guinejské republiky. — «Českoslov. Kras», roč. 17. 1965.

La Valle P. Some aspects of linear karst depression development in South Central Kentucky. — «Annals of the Assoc. of Amer. Geogr.», vol. 57, 1967, № 1.

Maurin V. und Zötl J. Ein fossiler semi-arider tropischer Karst auf Ithaka. — «Erdkunde», Bd. 20, 1966, Lfg. 3. Bonn.

Mistardis G. Recherches sur la karstification souterraine de l'Attique péninsulaire (pour la plupart semiaride). — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., t. III. Ljubljana, 1968.

Monroe W. H. Evidence of subterranean sheet solution under weathered detrital cover in Puerto Rico. — «Probl. of the karst denudation». Brno, 1969.

Němec F., Panoš V., Štelcl O. Duté aragonitové stalagmity z jeskyně «La Gran Caverna de Santo Tomás» na západní Kubě. — «Českoslov. Kras», roč. 19, 1967.

Núñez Jimenez A. Clasificación genética de las cuevas de Cuba. La Habana, 1967 a.

Núñez Jimenez A. Cuevas y pictografías. La Habana, 1967 b.

Núñez Jimenez A., Panos V., Štelcl O. Investigaciones carsológicas en Cuba. La Habana, 1966.

Núñez Jimenez A., Panos V., Štelcl O. Carsos de Cuba. La Habana, 1968.

Núñez Jimenez A., Panoš V., Štelcl O. Typen des tropischen Karstes. Praha, 1969.

Orghidan Tr., Pușcariu Val., Bleahu M., Decu V., Rusu T., Bunescu A. Harta regiunilor carstice din România. — Lucrările Institutului de Speologie «Emil Racoviță», t. IV. 1965.

Panoš V., Štelcl O. Karbonátové kury a povlaky na vápencích ve střídavě vlhkém tropickém podnebí Kubě. — «Českoslov. Kras», roč. 19, 1967.

Panoš V. and Štelcl O. Problems of the conical karst in Cuba. —

Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., t. III. Ljubljana, 1968.

Piše J., Vlček V., Vodička J. Některé výsledky hydrologických výzkumu v Moravském krasu. — «Českoslov. Kras», roč. 19, 1967.

Popov V. Rozšíření krasu v Bulharsku. — «Českoslov. Kras», roč. 17., 1965.

Problems of the speleological research. Prague, 1965.

Quinlan J. F. Central Kentucky Karst. — Actes de la Réunion Int. Karstologie Languedoc-Provence 8—12 juillet 1968. «Etudes et travaux de Méditerranée», № 7, 1970.

Radinja D. Caracléristiques fondamentales de la karstification en Slovénie (NW de la Yougoslavie). — Europ. regional conf. I. G. U. Symposium on karst-morphogenesis. Budapest—Aggtelek, 5—9 August 1971.

Roglič J. Les polje de karst dinarique et les modifications climatiques du quaternaire. — «Revue Belge de Géogr.», 88 année, 1964, fasc. 1—2.

Roglič J. The delimitations and morphological types of the Dinaric Karst. — «Naše jame», VII. Ljubljana, 19665 a.

Roglič J. The depth of the fissure circulation of water and the evolution of subterranean cavities in the Dinaric Karst. — «Problems of the speleol. research». Prague, 1965 6.

Ryšavý P. Problematika speleologických pruzkumu v oblasti Ma-cochy. — «Českoslov. Kras», roč. 17, 1965.

Sekyra J. K problematice krasu Středni Asie, — «Českoslov. Kras», roč. 16, 1964.

Silvestri P. I fenomeni carsici della Val Toggia ed i dissesti subiti dalla diga del bacino idroelettrico del Kastel. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., t. III. Ljubljana, 1968.

Skřivánek F. Die Karstentwicklung des Plešivec-Plateaus im Süd-slowakischen Karst. Tam že, 1968 a.

Skřivánek F. Kvádrový kras «Clare Area» v západním Irsku. — «Slovenský Kras», roč. 6. 1965—1966. Bratislava, 1968 6.

Speleologia, t. III, 1967, № 1. Warszawa.

Stelcl O., Panoš V. Výzkum krasu kubánských nížin. — «Zprávy Geogr. Ústavu CSAV», roč. 1967, č. 2. Opava.

Stellmack J. A. An alpine karst in the United States. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., t. III, Ljubljana, 1968.

150 let Postojnske jame, 1818—1968. Postojna, 1968.

Sweeting M. M. The weathering of limestones. With particular reference to the Carboniferous Limestones of Northern England. — «Essays in Geomorph.». London, 1966.

Sweeting M. M., Groom G. E. and Williams V. H., Pigott C. D., Smith D. I., Warwick G. T. Denudation in limestone regions: a symposium. — «Geogr. Journ.», vol. 131, part 1, March 1965.

Szabó P. Z. Eigenheiten der morphogenetischen Entwicklung des Karstreliefs und der Höhlen in Ungarn. — Actes du IV Congr. Int. de Spéléol. en Yougosl., t. III. Ljubljana, 1968.

Tell L. Lummelundagrottorna. Norrköping, 1966.

Verstappen H. Th. The state of karst research in Indonesia. — «Probl. of the karst denudation». Brno, 1969.

Watson R. A. and Smith Ph. M. The Flint Ridge Cave research center, Mammoth Cave national park, Kentucky. — Actes du IV Congr. Intern. de Spéléol. en Yougosl., t. III. Ljubljana, 1968.

White W. B., Watson R. A., Pohl E. R. and Brucker R. The Central Kentucky Karst. — «Geogr. Review», vol. 60, 1970, № 1. New York.

К главе XI

Альбов Н. Отчет о ботанических исследованиях Абхазии за 1890 г. — «Записки Кавк. отд. Русск. геогр. об-ва», кн. XV. Тифлис, 1893.

Альбов Н. Ботанико-географические исследования в Западном Закавказье в 1893 г. Наблюдения над флорой юрских известняков. — «Записки Кавк. отд. Русск. геогр. об-ва», кн. XVI. Тифлис, 1894.

Альбов Н. Ботанико-географические исследования в Западном Закавказье в 1894 г. — «Записки Кавк. отд. Русск. геогр. об-ва», кн. XVIII. Тифлис, 1896.

Владимиров Л. А. Питание рек и внутригодовое распределение речного стока на территории Грузии, Тбилиси, 1964.

Вологодский Г. П. Карст Южного Приангарья. — В кн.: О. В. Павлов, Г. П. Вологодский, Ф. Н. Лешиков. Инж.-геол. особенности Приангарск. пром. р-на и их значен. для строительства. М., 1965.

Вологодский Г. П. Карст. — В кн.: «Инж. геол. Прибайк.» М., 1968.

Гвоздецкий Н. А. Подземная топография. — «Природа», 1948, № 3.

Гвоздецкий Н. А. Особенности ландшафтов известняковых карстовых областей. — «Вопросы геогр.», сб. 16. М., 1949.

Гвоздецкий Н. А. Карст Приангарья и его влияние на природные комплексы. — «Учен. зап. МГУ», вып. 170, геогр., 1954.

Гвоздецкий Н. А. В защиту типологического понимания ландшафта. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 93, 1961 а, вып. 2.

Гвоздецкий Н. А. Опыт классификации ландшафтов СССР. — «Тексты докладов. Матер. к V Всес. совещ. по вопр. ландшафтовед.-н.» М., 1961 б.

Герасимов И. П. Географические наблюдения в Северной и Западной Африке. Сообщение 1-е. — «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1953, № 4.

Гергедава Б. А. Комплексная характеристика природных условий пещер Одиши (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Тбилиси, 1968 а.

Гергедава Б. А. Опыт ландшафтной классификации карстовых пещер. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 100, 1968 б, вып. 2.

Горбунова К. А. Энергетическое использование карстовых вод в Югославии. — «Пещеры», вып. 7 (8). Пермь, 1969.

Козменко А. С. Мелиорация водоносности карстовых районов ЦЧО и южной части Московской области. М., 1931.

Ладейщиков Н. и Остроумов С. Климат и сельское хозяйство Иркутской области. Иркутск, 1949.

Максимович Г. А. Актайско-Талицкое месторождение бокситов. — «Учен. зап. Пермск. ун-та», юбил. вып., т. II, вып. 3, 1936.

Маруашвили Л. И. Подземные ландшафты. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», т. 103, 1971, вып. 6.

Панков А. М. Почвы горной Чечни. Владикавказ, 1930 — Отт. из кн.: В. М. Моткин, Е. Ф. Павлов, А. М. Панков. «Почвы Чечнии».

Семенов-Тянь-Шанский В. П. Район и страна. М.—Л., 1928.

Соболев Н. Н. О карстовых явлениях Онежско-Двинского водораздела. — «Изв. Русск. геогр. об-ва», т. 35, 1899 а, вып. 5.

Соболев Н. П. Геологические наблюдения вдоль Вологодско-Архангельской ж. д. — «Матер. к познан. геол. строен. Росс. имп.», вып. 1. М., 1899 б.

Сочава В. Б. Некоторые данные об инверсии растительных ассоциаций в связи с вопросом об инверсиях растительности вообще. — «Учен. зап. Ленингр. гос. пед. ин-та им. М. Н. Покровского», т. VI, геогр., вып. 2, 1948.

Тихомиров Н. К. Значение карста в гидрогеологии. — «Водн. богатства недр земли на служ. соц. строит.». I Всес. гидрогеол. съезд 1931 г. Сб. 7, гидрогеол. и инж. геол., 1934.

Чикишев А. Г. Проблемы современной спелеологии. — «Землеведение», нов. сер., т. 7 (47). М., 1967.

Bennett H. H. Some geographic aspects of Cuban soils. — «The Geographical Review», January, 1928.

Cuisinier L. Régions calcaires de l'Indochine. — «Annales de Géographie» № 213, 38 année. 15 Mai, 1929.

К главе XII

Барков А. С. Карст Самарской Луки. — «Землеведение», т. 34, 1932, вып. 1—2.

Барков В. С. Опыт применения электроразведки для решения некоторых вопросов при исследовании карста в условиях железнодорожного транспорта. — В кн.: «Специальные вопросы карстования». М., 1962.

Брашина И. А. Опыт применения гравиметрии и резистивиметрии при исследовании карстовых явлений в Дзержинске. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Брашина И. А. Исследование карбонатно-гипсового карста района г. Дзержинска геофизическими методами. — «Вопр. карстования», вып. II. Пермь, 1970.

Буйнаков Е. И. Противокарстовые мероприятия на Горьковской ж. д. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Васильев Б. В. Карст на территории Татарской республики и его значение в сельском хозяйстве и промышленности. — «Гидрогеол. и карстование», вып. 3. Пермь, 1966.

Васильев И. Н. Изучение геологических условий закарстования при строительстве Ялтинского тоннеля. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Вологодский Г. П. Районирование карста Южного Приангарья. — Тр. И совещ. по подз. водам и инж. геологии Вост. Сибири, вып. III. Иркутск, 1959.

Вологодский Г. П. Карст Южного Приангарья. — В кн.: О. В. Павлов, Г. П. Вологодский, Ф. Н. Лециков. Инж.-геол. особ. Приангарск. пром. р-на и их значен. для строит.-ва. М., 1965.

Газизов М. С. Оценка устойчивости закарстованных пород в основании инженерных сооружений. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Гвоздецкий Н. А. О практическом значении изучения карстовых явлений. — «Геогр. сб.» Геогр. об-ва СССР, I, 1952 а.

Гвоздецкий Н. А. Карстовые явления в Приангарье. — «Учен. зап. Моск. ун-та», вып. 160. Геогр., т. 5, 1952 б.

Гвоздецкий Н. А. Карст Приангарья и его влияние на природные комплексы. — «Учен. зап. Моск. ун-та», вып. 170, геогр., 1954.

Гвоздецкий Н. А. и Чикишев А. Г. Народнохозяйственное зна-

чение изучения карста. — «Землеведение», пов. сер., т. 8 (48). М., 1969.

Гельфер А. А. Причины и формы разрушения гидротехнических сооружений. Л.—М., 1936.

Геология и плотины, т. II. М.—Л., 1962.

Горбунова К. А. Энергетическое использование карстовых вод в Югославии. — «Пещеры», вып. 7 (8). Пермь, 1969.

Дубровкин В. Л. Исследование карстовых районов при изысканиях трассы для железнодорожных линий. — «Сов. геология» № 35, 1948.

Жуковский С. Я. Карст участка Каховской ГЭС на р. Днепре. — «Тезисы докл. на Совещ. по изуч. карста», вып. II. М., 1956.

Жуковский С. Я. О некоторых чертах карста долины нижнего Днепра. — «Вестн. Моск. ун-та», геол., 1960, № 2.

Иванов Б. Н. Комплекс карстологических исследований при строительстве тоннелей в горных карстовых районах. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Иванов Б. Н. Современные методы комплексного изучения карста при проектировании и строительстве мелиоративных и гидро-энергетических систем (на примере Югославии). — Минист. геол. СССР. Обзор, сер. «Гидрогеол. и инж. геол.» № 9. М., 1969.

Иванов Д. Л. Воронки на уфимском участке Самаро-Златоустовской ж. д. — «Изв. Об-ва горн. инж.», год VI. СПб., 1897, № 1.

Иванов Д. Л. Уфимские воронки. Провалы на Самаро-Златоустовской ж. д. — «Изд. Собр. инж. путей сообщ.». СПб., 1899.

Ильин А. Н. Карст на железной дороге Новки—Иваново. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Ильин А. Н., Капустин А. П., Коган И. А., Попов И. В., Прозорова Н. А., Саваренский И. А., Чихачев С. М. Карстовые явления в районе г. Дзержинска Горьковской области. — «Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР», т. 32, 1960.

Кавеев М. С. Методика инженерно-геологических исследований карста. — «Методика изуч. карста», вып. 7. Пермь, 1963.

Кириченко А. А., Шаклеин Я. Н., Яковенко П. И. К вопросу изучения карстовых явлений и связанных с ними деформаций земной поверхности в районе ст. Чусовская. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Кухарев Н. М. Геолого-технические особенности исследований при изыскании дорог в районах карста. — «Дорога и автомобиль», 1935, № 8.

Кухарев Н. М. Инженерные изыскания при линейном строительстве в карстовых районах. — «Энергетическое строительство», 1966, № 5.

Кухарев Н. М. Взаимосвязь карстового процесса с формами рельефа поверхности. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Лукин В. С. Провальные явления на Урале и в Предуралье. — «Тр. Ин-та геол. Урал. фил. АН СССР», вып. 69. Гидрогеол. сб. № 2. Свердловск, 1964.

Лукин В. С. Прогноз развития провальных впадин под сооружениями. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Лукин В. С. Инженерно-геологическое районирование и прог-

поз карстовых провалов на малых площадях. — «Вопр. карствед.», вып. II. Пермь, 1970.

Лыкошин А. Г. Основные вопросы и методы инженерно-геологических исследований карста в связи с гидроэнергетическим строительством. — «Изв. высш. уч. завед.», сер. геол. и разв., 1959, № 1.

Лыкошин А. Г. Карст и гидроэнергетическое строительство (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук). М., 1962.

Лыкошин А. Г. Инженерио-геологические исследования карста для гидротехнического строительства. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Лыкошин А. Г. Карст и гидротехническое строительство. М., 1968.

Людзон М. Плотины и геология. М.—Л., 1936.

Максимович Г. А. Условия развития карбонатного и сульфатного карста. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Милихикер Ш. Г. Исследование карста в районе среднего течения р. Чусовой в связи с гидротехническим строительством. — В кн.: «Спец. вопр. карстоведен.». М., 1962.

Михальский А. О причинах возникновения провалов в пределах 452—454 вв. Вильно-Ровенского участка Полесских ж. д. — «Изв. Геол. ком.», т. XX, 1901, № 9.

Молдавская Е. А., Овсеевко В. В. Опыт изысканий линий электропередачи 220 кв в карстовом районе. — «Электр. станции», 1958, № 9.

Молибожко А. Г. Карстовые явления на Донецкой ж. д. и борьба с ними. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Молоков Л. А. и Калмыкова Н. И. Чарвакская плотина на р. Чирчик. — В кн.: «Геол. и плотины», т. II (гл. 9). М.—Л., 1962.

Мухин Ю. В. Карстовые явления в районе г. Альметьевска и Октябрьского в связи со строительством этих городов. — «Тезисы докл. на Совещ. по изуч. карста», вып. 15. М., 1956.

Мухин Ю. В. Изучение карстовых явлений в районе Альметьевска. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Печеркин И. А. К вопросу типизации закарстованных берегов Камского водохранилища. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Печеркин И. А. Вопросы устойчивости закарстованных территорий на побережьях водохранилищ. — «Вопр. карстоведен.», вып. II. Пермь, 1970.

Плоткин А. А. Инженерио-геологические изыскания на закарстованном участке Горьковской ж. д. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Полевой В. С. Опыт применения геофизических исследований для гидротехнического строительства в карстовых районах. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Попов И. В. Изыскания и проектирование железных дорог в карстовых районах. — В кн.: «Матер. I Всес. н.-иссл. конф. по дорожн. строит-ву, 1948». М., 1950.

Попов И. В. Инженерная геология СССР. Ч. II, Европ. часть СССР; ч. III, Урал, Зап. Сибирь. М., 1965, 1969.

Попов И. В. Изучение карста в связи с инженерными исследованиями. — Сб. «Сов. исслед. карста за 50 лет». М., 1967.

Попов И. В. и Саваренский И. А. Региональные основы инженерно-геологического районирования карста Русской платформы. — Сб. «Вопр. изуч. карста Русск. равн.». М., 1966.

Пресняков И. И., Агаишков В. И. О провальных явлениях на отдельных закарстованных участках Свердловской и Горьковской ж. д. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Проектирование, строительство и эксплуатация земляного полотна в карстовых районах (Тр. совещ. в г. Горьком в октябре 1965 г.). М., 1968.

Раши Д. Н. Инженерно-геологические исследования при изысканиях ж.-д. линий. М., 1939.

Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР (ротапр. издание ПНИИИСа Госстроя СССР). М., 1967.

Родионов Н. В. Некоторые закономерности в карбонатных породах. — «Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР», т. 3. М.—Л., 1948.

Родионов Н. В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах при устройстве малых водоемов, гражданском и промышленном строительстве. М., 1958.

Родионов Н. В. Основы гидрогеологического и инженерно-геологического районирования карста Европейской части СССР. — «Пробл. гидрогеол.», вопр. гидрогеол. и инж. геол. в связи со строительством. Докл. к собр. Междунар. ассоц. гидрогеологов, 1960.

Родионов Н. В. Инженерно-геологические исследования при гражданском и промышленном строительстве в карстовых районах. — «Методика изуч. карста», вып. 7. Пермь, 1963 а.

Родионов Н. В. Методика изучения карста при массовом строительстве прудов и водоемов. — Там же, 1963 б.

Саваренский И. А. Вероятность появления карстовых провалов различных диаметров в районе г. Дзержинска. — «Новости карстоведен. и спелеол.» № 3. М., 1963.

Саваренский Ф. П. Гидрогеология и инженерная геология в Италии. — «Вестн. Всес. геол.-разв. объедин.», т. VI, 1931, № 11—12.

Саваренский Ф. П. Инженерная геология. Изд. 2-е. М.—Л., 1939.

Седенко М. В. Возможность карстовых явлений на отдельных участках Белорусской ж. д. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Седов В. П. Инженерно-геологические условия и карстовые явления района Черемховского промкомбината. — «Тр. Моск. геол.-разв. ин-та» № 6, 1937.

Скворцов Г. Г. Вопросы инженерно-геологического изучения и оценки карста в основании железнодорожных сооружений. — В кн.: «Спец. вопр. карстоведен.». М., 1962.

Соболев Н. Н. О карстовых явлениях Онежско-Двинского водораздела... — «Изв. Русск. геогр. общ-ва», т. 35. СПб., 1899, вып. 5.

Соколов Д. С. Карст и вопросы изучения его в связи с гид-

ротехническим строительством. — «Гидротехн. стр-во», 1947 а, № 7.

Соколов Д. С. Инженерно-геологическая съемка при гидроэнергетическом строительстве. М.—Л., 1947 б.

Соколов Д. С. Условия фильтрации через закарстованные известняки Белорецкого водохранилища. — «Карстоведение» (Тр. Пермск. карст. конф.), вып. 4. Пермь, 1948.

Соколов Д. С. Карст района Куйбышевского водохранилища. — В кн.: «Опыт и методика изуч. гидрогеол. и ниж.-геол. усл. крупн. водохранилищ». М., 1959.

Соколов Н. И. Геологическое строение и карстовые явления Черемховских площадей. — «Вопр. Ангари-Енисейск. проблемы». М.—Иркутск, 1934.

Соколов Н. И. Бархатовский карст. — «Вопр. геогр.», сб. 40. М., 1957 а.

Соколов Н. И. Геологическая история восточной части Иркутского амфитеатра в антропогене как основа инженерно-геологического районирования его территории. — «Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР», т. XIV, 1957 б.

Ступишин А. В. Карта возможных карстопроявлений в зонах железных дорог Среднего Поволжья. — В сб.: «Вопр. изуч. карста Русск. равн.». М., 1966.

Ступишин А. В. Условия развития карста в Среднем Поволжье. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Тарунина А. Л. Опыт электроразведки мостового перехода через р. Левую в одном из карстовых районов Литовской ССР. — «Методика изуч. карста», вып. 5. Пермь, 1963.

Терцаги К. Инженерная геология. Изд. 2-е Л.—М., 1935.

Тимофеев Е. М. История и закономерности развития карбонатного карста районов проектируемых гидротехнических сооружений в бассейнах Печоры, Вычегды и Камы как основа их инженерно-геологического изучения (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук). М., 1968.

Тутковский П. Карстовые явления и самобитные артезианские ключи в Волынской губ. Ст. I. Провалы почвы на Полесск. ж. д. — «Тр. Об-ва иссл. Волыни», т. IV. Житомир, 1911.

Усольцев Л. Н., Мартин В. И. Провальные явления района г. Уфы и их связь с антропогенными факторами. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Чернов А. А. и Швецов М. С. Отчет о геологических исследованиях 1913 г., в полосе провалов на 5-м участке проектированной линии Казань—Екатеринбург, 1915.

Чернухина С. Е. Противокарстовые мероприятия на Куйбышевской ж. д. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Чернышев Ф. Записка о прилегающих к Уфе участках Самаро-Златоустовской ж. д. — «Изв. Об-ва горн. инж.», год VI. СПб., 1897, № 1.

Чечот В. З. и Зегельман Б. Л. Карбонатный карст и особенности его развития в речных долинах (на примере р. Чирчик). — «Тр. Всес. науч.-иссл. и проект.-изыск. ин-та Гидропроект», 1963.

Чикишев А. Г. Карст Среднего Урала и его народнохозяйственное значение. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Штукенберг А. А. Воронки около г. Кунгура, Пермской губ., по линии Пермь—Екатеринбург. ж. д. — «Горн. журн.», т. 1, февр. 1911.

Юрченко А. П. Укрепление участка пути Прибалтийской ж. д. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотна в карстов. р-нах». М., 1968.

Якушова А. Ф. Карст и гидротехническое строительство. — «Карстоведение» (Тр. Пермск. карст. конф.), вып. 4, Пермь, 1948.

Якушова А. Ф. Карст палеозойских карбонатных пород на Русской равнине. — «Учен. зап. МГУ», вып. 136. Геол., т. III, 1949.

Frink J. W. Solution of limestone beneath Hales Bar Dam. — «J. Geol.», 1946, № 2.

Guide de l'excursion à travers le Karst Dinarique. IV Congr. Intern. de Spéléol. en Yougoslavie. Ljubljana, 1965.

К главе XIII

Армишев В. М. Исследование палеокарстовых зон тектонических нарушений методом отраженных волн в связи с поисками залежей нефти и газа. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Бенеславский С. И. Связь бокситонакопления с карстообразованием. — «Тезисы докл. на Совещ. по изуч. карста», вып. 9. М., 1956.

Бенеславский С. И. Карстово-делювиальный тип месторождений бокситов. — «Докл. АН СССР», нов. сер., т. 114, 1957, № 2.

Берг Г. Геохимия месторождений полезных ископаемых, изд. 2-е. М.—Л., 1937.

Блинов В. А. Некоторые закономерности распределения алмазов в русловой россыпи р. Койвы на западном склоне Среднего Урала. — В кн.: «Закономерн. размещ. полезн. ископ.», т. 4, 1960.

Бобров Е. Т. Бокситоносный карст юго-западной части Сибирской платформы. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Бураков А. Д. Железные руды Сергинского карстового района. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Бушинский Г. И. Об условиях образования и закономерностях размещения бокситовых месторождений. — В кн.: «Закономерн. размещ. полезн. ископ.», т. 1, 1958.

Бушинский Г. И. Карстовые бокситовые и фосфоритовые месторождения и роль карста в боксито- и фосфатонакоплении. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Бушинский Г. И. Карст и связанные с ним руды. — Сб. «Сов. иссл. карста за 50 лет». М., 1967.

Быков В. Н. Практическое значение палеокарстовых коллекторов (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук). Пермь, 1967.

Быков В. Н. Конвергентная неопределенность при изучении карстовых коллекторов нефти и газа и пути ее преодоления. — «Вопр. карстоведен.», вып. II. Пермь, 1970 а.

Быков В. Н. Показатели неоднородности карстовых коллекторов. — Там же, 1970 б.

Васильев А. А. и Шейн П. С. Карстовые явления в Кизеловском районе. — В кн.: «Угленосные отложения западного склона Урала». М.—Л., 1932.

Вахрушев Г. В. Роль карста в формировании месторождений по-

лезных ископаемых западного склона Южного Урала и Приуралья. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Верболоз С. Е. О карстовых явлениях, встречаемых шахтами в восточной части Донбасса. — «Бюлл. научн.-техн. информ. МГ и ОН СССР», 1958, № 5 (17).

Витковский В. За океан. Изд. 2-е, СПб., 1901.

Водорезов Г. И., Варламов Н. П. и Мультенко М. А. Ашинское месторождение фосфоритов в Приуралье. — В кн.: «Вопр. геол. агропомич. руд». М., 1956.

Вологодский Г. П. Карст Южного Приангарья. — В кн.: О. П. Павлов, Г. П. Вологодский, Ф. Н. Лециков. Инж.-геол. особ. Приангарск. пром. р-на и их значен. для строит-ва. М., 1965.

Вологодский Г. П. Карст. — В кн.: «Инж. геол. Прибайк.» М., 1968.

Газизов М. С. Карстовые явления на эстонском месторождении горючих сланцев и методика их изучения. — В кн.: «Спец. вопр. карстоведен.». М., 1962.

Газизов М. С. О классификации карстовых образований в Прибалтийском сланцевом бассейне. — «Добыча и переработка горючих сланцев», вып. 14. Л., 1965.

Газизов М. С. Принцип дренажа обводненных песков через подстилающие закарстованные известняки. — «Спец. вопр. шахтн. строит-ва» (Науч. сообщ. Ин-та горн. дела им. А. А. Скочинского, 46). М., 1968 а.

Газизов М. С. Фазы развития карста на железорудных месторождениях Кустанайской области. — Там же, 1968 б.

Газизов М. С., Талве Л. Г. Исследование и разработка эффективных способов дренажа подземных вод при камерной системе добычи на сланцевых шахтах Эстонской ССР. М., 1966.

Гвоздецкий Н. А. Карст района Кавказских Минеральных Вод. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Гвоздецкий Н. А. и Чикишев А. Г. Народнохозяйственное значение изучения карста. — «Землеведение», нов. сер., т. 8 (48). М., 1969.

Гевирц М. И. Полезные ископаемые восточного склона Среднего Урала и карстовые процессы. — «Вопр. геогр. и охр. прир. Урала», вып. II—IV. Пермь, 1960.

Гинзбург Н. И. Карст и рудообразование. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Головцин В. Н. О возможности применения электрометрических методов к изучению карстовых явлений. — «Тр. Сейсмол. ин-та АН СССР», вып. 52, 1935.

Дахнов В. Н. и Лебедев А. П. Значение глубинного карста для геологии нефти. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Девдариани А. С. Методика картирования суффозионных форм рельефа в карстовых районах в инженерно-геологических целях на примере Североуральских бокситовых месторождений. — «Методика изуч. карста», вып. 7. Пермь, 1963.

Дзекс-Литовский А. И. Природная селитра СССР. — «Наука и жизнь», 1943, № 9—10.

Енцов Н. И. Перспективы нефтегазоносности карстовых коллекторов верхнедевонской, турнейской и визейской карбонатных толщ

Пермского Прикамья (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук). Пермь, 1967.

Енцов И. И., Щербина В. Д. К нефтегазоносности нижнепермских карбонатных отложений на месторождениях Куединского вала в Пермском Прикамье. — «Вопр. карстоведен.», Пермь, 1969.

Занин Ю. Н., Ощепков Ю. С. Текстуры карстовых фосфоритов. — «Бюлл. МОИП», отд. геол., т. 42, 1967, вып. 6.

Ильин С. В. и Кельманский М. С. Результаты работ Уральской научно-исследовательской карстовой станции. — «Тр. Уральск. науч.-иссл. ин-та геол., разв. и иссл. минер. сырья», вып. 1, геол. и геофиз. Свердловск, 1938.

Карасик М. А. Месторождения никелевых руд Режевского района. — «Тр. Горно-геол. ин-та Уральск. фил. АН СССР», вып. 13. Свердловск, 1948.

Кельманский М. С. Гидрогеология угольных копей Кизеловского карстового района на Урале и условия производства горных работ под водоносными карстами. — «Уголь», 1938, № 11.

Кельманский М. С. Прорыв карстовых вод и затопление шахты им. Первого мая. — «Уголь», 1940, № 4—5.

Колодяжная А. А. К вопросу о влиянии сульфидов на процессы карстообразования. «Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР», т. 16, 1959.

Колодяжная А. А., Сунцов М. А., Огильви А. А. и Хмелевской В. К. Формирование подземных вод района Североуральских бокситовых месторождений («Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР», т. 31). М., 1961.

Копотилов Ю. П. Особенности режима карстовых вод Кизеловского района в связи с шахтным водоотливом. — «Тезисы докл. на Совещ. по изуч. карста», вып. 7. М., 1956.

Короткевич Г. В. Карст Североуральского месторождения бокситов Красная шапочка и вопросы глубинного карстообразования. — «Вестн. Ленингр. ун-та», № 24, 1959.

Красильникова Н. А. Карстовые фосфориты. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Кротов Б. П. Закономерности распределения на Урале комплексных месторождений железных, никелевых и кобальтовых руд категории выветривания. — «Изв. АН СССР», сер. геол., 1945, № 2.

Леворсен А. И. Геология нефти. М., 1958.

Левыкин В. В. Карстовые и ложнокарстовые явления на Ленинградском месторождении горючих сланцев. — В кн.: «Спец. вопр. карстоведен.», М., 1962.

Лерман Б. И., Усольцев Л. Н. Коллекторы Западной Башкирии как объекты для захоронения сточных вод. — «Вопр. карстоведен.», Пермь, 1969.

Лисицына Н. А. и Пастухова М. В. Карстовые бокситы Казахской складчатой страны и Тургайской впадины. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Максимович Г. А. Карстовый тип месторождений фосфоритов. — «Учен. зап. Пермск. ун-та», т. 15, вып. 1, 1960.

Максимович Г. А. Нефть и газ палеокарстовых полостей рифов. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Максимович Г. А. Количество вторичных минералов пещер карбонатного карста. — «Вопр. карстоведен.», вып. II. Пермь, 1970.

Максимович Г. А., Быков В. Н. Миграция вещества в карстовых коллекторах нефти и газа. — «Вопр. карстовед.». Пермь, 1969 а.

Максимович Г. А., Быков В. Н. Классификация залежей нефти и газа в карстовых коллекторах. — Там же, 1969 б.

Максимович Г. А., Енцов И. И. Нефтегазоносность карбонатных коллекторов. — «Гидрогеол. и карстоведен.», вып. 3. Пермь, 1966.

Максимович Г. А., Костарев В. П., Быков В. Н. Полезные ископаемые карстовых полостей и впадин Урала и Приуралья. — Сб. «Карст Урала и Приуралья». Пермь, 1968.

Максимович Г. А., Кропачев А. М. О роли геохимических барьеров в формировании полезных ископаемых карстовых впадин и полостей. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Максимович Г. А., Тюрина И. М. Бурый уголь карстовых впадин. — Там же, 1969.

Максимович Г. А., Тюрина И. М. Морфометрическая характеристика залежей торфа и угля карстовых впадин. — «Вопр. карстоведен.», вып. II. Пермь, 1970.

Максимович Г. А., Шестов И. Н., Шурубор А. В. Минеральные воды карстовых полостей Пермской области. — Сб. «Карст Урала и Приуралья». Пермь, 1968.

Максимович Г. А., Шестов И. Н., Шурубор А. В. Минеральные трещинно-карстовые воды платформ. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Материалы карстовой конференции. Кизел, дек. 1933; М.—Л., 1935.

Медведев А. В. Обводненность рудных месторождений в условиях карста на Урале. — В кн.: «Спец. вопр. карстоведен.». М., 1962.

Меннер В. В. и Раабен М. Е. Палеокарст Южного Приуралья и связанные с ним полезные ископаемые. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Мирзаев К. М. Карстовые россыпи золота. — «Природа», 1965, № 5.

Михайлова Е. В. Карст в южном крыле Подмосковского бассейна. — В кн.: «Спец. вопр. карстоведен.». М., 1962.

Мульменко М. А. О роли карста при формировании Ашинского месторождения фосфоритов. — «Тезисы докл. на Совещ. по изуч. карста», вып. 9. М., 1956.

Овчинников А. М. Карст и минеральные воды. — «Тезисы докл. Пермск. карст. конф.». Пермь, 1947 а.

Овчинников А. М. Минеральные воды. М.—Л., 1947 б.

Овчинников А. М. Гидрогеология месторождений минеральных вод карстовых районов. — «Тезисы докл. на Научн. совещ. по изуч. карста», вып. 6. М., 1956.

Огильви А. Н. К вопросу о происхождении минеральных источников района Кавказских Минеральных Вод. — «Тр. Бальнеол. ин-та на Кавк. Мин. Водах», т. 2. Пятигорск, 1925.

Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов. М., 1965.

Печеркин И. А. Притоки карстовых вод в горные выработки Кизеловского каменноугольного бассейна. — В кн.: «Спец. вопр. карстоведен.». М., 1962.

Печеркин И. А. и Карзенков Г. И. Подземные и шахтные воды Кизеловского карстового района. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Плотников И. И., Миловидов Е. Д. О генезисе североуральских бокситовых месторождений. — «Сов. геология», 1961, № 7.

Плотников И. И., Миловидов Е. Д. О генезисе североуральских бокситовых месторождений. — «Изв. АН СССР», сер. геол., 1962, № 5.

Рассел У. П. Основы нефтяной геологии. М., 1958.

Севостьянов Ю. А. Исследование карста на южном крыле Подмосквового бассейна применительно к практике разведки и эксплуатации угольных месторождений (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук). М., 1971.

Сидоров И. Н. Разработка месторождений Кизеловского бассейна в условиях закарстованных пород. — «Тр. Горно-геол. ин-та Урал. фил. АН СССР», вып. 9, 1947.

Сладкопевцев С. А. Древний карст западной части Казахского нагорья и его роль в образовании месторождений бокситов. — «Вестн. Моск. ун-та», геогр., 1964, № 3.

Станкевич Е. Ф. О связи эпох серообразования с периодами усиления карстовых процессов. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Степанов И. С. Геологические и геоморфологические условия россыпной алмазности западного склона Среднего и Северного Урала (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук). Л.—Пермь, 1970.

Ступинский А. В. Изучение карста нефтяных месторождений СССР. — Сб. «Сов. иссл. карста за 50 лет». М., 1967.

Толстихина М. М. Материалы к геоморфологии Кизеловского района на западном склоне Урала. — «Изв. Гос. геогр. об-ва», т. 68, 1936, вып. 3.

Успенская Н. Ю. Нефтеносность палеозоя Северо-Американской платформы. М., 1950.

Федоровский Н. Селитра. — «Техн. энцикл.», т. 20. М., 1933.

Ферсман А. Е. К минералогии пещер. — «Природа», 1926, № 1—2.

Ферсман А. Е. Геохимия пещер. — «Природа», 1952, № 3.

Ходыков А. Е. Соляной карст Верхнекамского и Бахмутского районов и закономерности его развития. — В кн.: «Спец. вопр. карстоведен.». М., 1962.

Хоментовский А. С. Образование угольных месторождений во впадинах оседания, связанных со сводами соляных структур краевого прогиба Южного Урала и северо-восточной окраины Прикаспийской впадины. — В кн.: «Спец. вопр. карстоведен.». М., 1962.

Хурсик В. З., Шимановский Л. А. Флюорит и самородная сера в Пермской обл. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Чернов Н. И., Быков В. Н. Строеие карстовых коллекторов месторождения Карагай. — Там же, 1969.

Чикишев А. Г. Карст Среднего Урала и его народнохозяйственное значение. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Чирвинский П. Н. Типы спелеологического минералообразования и их минеральный состав. — «Минерал. сб. Львовск. геол. общ.», № 4, 1950.

Шевяков Л. Д. О карсте. — «Карстоведен.» (Тр. Пермской карст. конф.), вып. 1. Пермь, 1948 (то же, «Природа», 1948, № 9).

Шестов И. Н., Шилыева З. А. Сульфидные трещинно-карстовые воды Сылвенской депрессии. — «Вопр. карстоведен.». Пермь, 1969.

Guide de l'excursion à travers le Karst Dinarique, IV^e Congr. Intern. de Spéléol. en Yougoslavie. Ljubljana, 1965.

Hunt R. Erdfalltektonik. Halle, 1950.

Kispatić M. Bauxite des Kroatischen Karstes und ihre Entstehung. — «Neues Jahrb. für Miner., Geol. und Paläontol.». Bd. XXXIV, Beilage — Heft, 1912.

Martel E. A. Applications géologiques de la spéléologie. Origine et rôle des cavernes, leurs variations climatiques, leurs rapports avec les filons. — «Annales des Mines», 9 série, t. X, 7-me livr. Paris, 1896.

К главе XIV

Алтухов М. Н. и Фейгин М. В. Отчет об изысканиях ключевой воды для водоснабжения С.-Петербурга. СПб., 1896.

Васильев Б. В. Карст на территории Татарской республики и его значение в сельском хозяйстве и промышленности. — «Гидрогеол. и карстоведен.», вып. 3. Пермь, 1966.

Воейков А. И. Воздействие человека на природу. — «Землеведение», т. I, 1894, кн. 2.

Вологодский Г. П. Карст Южного Приангарья. — В кн.: С. В. Павлов, Г. П. Вологодский, Ф. Н. Леициков. Инж.-геол. особенности Приангарск. пром. р-на и их значен. для строительства». М., 1965.

Вологодский Г. П. Карст. — В кн.: «Инж. геол. Прибайк.». М., 1968.

Гвоздецкий Н. А. Карст района Кавказских Минеральных Вод. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Гвоздецкий Н. А. и Машбиц Я. Г. Некоторые проблемы карста Юкатана (геоморфология, водоснабжение, расселение). — Сб. «Региональн. карстоведен.». М., 1958.

Гвоздецкий Н. А., Смирнова Е. Д., Цесельчук Ю. Н. Некоторые новые данные о карсте Нечерноземного Центра. — «Вестн. Моск. ун-та», геогр., 1960, № 4.

Гвоздецкий Н. А. и Спиридонов А. И. Новые данные о карсте бассейна р. Клязьмы и Окско-Клязьминского междуречья. — Сб. «Региональн. карстоведен.». М., 1958.

Гвоздецкий Н. А., Спиридонов А. И. Карст Муромско-Павловского правобережья реки Оки. — «Землеведение», нов. сер., т. 9 (49). М., 1971.

Гвоздецкий Н. А. и Шматков В. А. Карст правобережья Оки в окрестностях Касимова. — Сб. «Вопр. изуч. карста Русск. равн.». М., 1966.

Ена В. Г. Лесосады и лаванду — на крымские яйлы. — «Виноградарство и садоводство Крыма», 1958, № 8 (10).

Ена В. Г. Вопросы охраны, мелиорации и рационального использования природы крымских яйл. — Сб. «Природні ресурси УРСР та шляхи їх рациональн. використання». Київ, 1965.

Иванов Б. Н. Карст Крыма и его значение в народном хозяйстве. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Козменко А. С. Мелиорация водоносности карстовых районов ЦЧО и южной части Московской обл. М., 1931.

Козменко А. С. Задачи Ново-Михайловской гидрологической

станции в карстовом районе ЦЧО. — «Изв. Гос. гидрол. ин-та» № 47. Л., 1932.

Козменко А. С. Мелиорация карстовых районов центральной лесостепи. — «Лес и степь», 1953, № 3.

Кудряшов И. К. Влияние карста на сельскохозяйственное использование территорий на примере Башкирии. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Максимович Г. А. Тектонические закономерности распространения карста на территории СССР. — В кн.: «Общ. вопр. карстоведен.» М., 1962.

Максимович Г. А. Условия развития карбонатного и сульфатного карста. — В кн.: «Проектир., строит. и эксплуат. земл. полотно в карстов. р-нах». М., 1968.

Паукер Н. Г. О значении палеокарста в понимании современных гидрогеологических условий отдельных районов (на примере северо-восточного Казахстана). — В кн.: «Спец. вопр. карстоведен.» М., 1962.

Смирнова Е. Д. Карст Нечерноземного Центра и его влияние на сельскохозяйственное использование земель. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Спиридонов А. И. Геоморфологический очерк Каширского района Московской обл. — «Учен. зап. МГУ», вып. 14, геогр. М., 1938.

Феденко П. В. Карст — народному хозяйству. — «Природа», 1967, № 4.

Чангашвили Г. З. О мерах борьбы с отрицательными последствиями карстовых явлений Асхского известнякового массива. — «Сообщ. АН Груз. ССР», т. 20, 1958, № 5.

Чикишев А. Г. Карст Среднего Урала и его народнохозяйственное значение. — В кн.: «Карст и его народнохоз. знач.» («Тр. МОИП», т. 12). М., 1964.

Шелковская Н. П. Карстологическая характеристика части Биссеяна р. Увельки. — Сб. «Вопр. физ. геогр. Южн. Урала», вып. I. Челябинск, 1966.

Шелковская Н. П. Карстовые озера Челябинской обл. — Сб. «Вопр. геогр. Юж. Урала», вып. II. Челябинск, 1968.

Шелковская Н. П. Районирование карста Челябинской обл. в связи с вопросами хозяйственного использования карстовых вод (автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук). Казань, 1970.

Шимановская Н. А., Шимановский Л. А. К оценке ресурсов карстовых вод Пермской обл. — «Вопр. карстоведен.», вып. II. Пермь, 1970.

Шимановский Л. А., Шимановская Н. А., Крутов В. М. Карстовые воды Пермской области и возможности их использования для водоснабжения. — «Вопр. карстоведен.», Пермь, 1969.

Якушова А. Ф. Карст палеозойских карбонатных пород на Русской равнине. — «Учен. зап. МГУ», вып. 136. Геол., т. III, 1949.

Dicken S. N. and Brown H. B. Soil erosion in the karst lands of Kentucky (Unit. Stat. Dep. of Agricult. Soil Conservation Service. Circular № 490). Washington, 1938.

Martel E. A. L'Evolution souterraine. Paris, 1919.

Оглавление

Введение	5
Глава I. Из истории отечественного карстоведения	12
Глава II. Методика изучения карста	42
Глава III. Химизм карстовых процессов	74
Глава IV. Влияние геологических, географических условий и отдельных компонентов географической среды на развитие карста	111
Глава V Поверхностные карстовые формы	155
Глава VI. Пропасти и пещеры	182
Глава VII. Источники, реки и озера карстовых рай- онов	205
Глава VIII. Проблема типологии карста	216
Глава IX. Проблема районирования карста	242
Глава X. Географическое распространение карсто- вых явлений	251
Глава XI. Ландшафтные особенности закарстован- ных территорий и карстовый ландшафт	281
Глава XII. Карст и строительство	287
Глава XIII. Карст и горное дело	307
Глава XIV. Другие стороны практического значения карста	330
Литература	341

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
75	Табл. 1	$\text{CaCO}_3 \cdot$ $\cdot \text{MgCO}_3$	Опустить на одну строку
99	3 св.	0,05 м/сек	0,05 см/сек
112	12 св.	эффективностью	эффектностью
141	3 св.	90—185 мг/л	90—135 мг/л
156	5 св.	самых	самих
347	18 св.	Russich-	Russisch-
368	2 св.	— Congr.	— II Congr.
373	4 св.	Похождения	Походження
373	23 св.	пищеры	пещеры
376	25 св.	Fahtorji	Faktorji
378	10 св.	Méditerrannée	Méditerranée
378	18 св.	19665	1965