

Е. А. ВТЮРИНА

СЕЗОННО- КРИОГЕННЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ГОССТРОЙ СССР
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е. А. ВТЮРИНА

СЕЗОННО- КРИОГЕННЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Ответственный редактор
кандидат географических наук
М.М. КОРЕЙША



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"
МОСКВА 1984



4207

В т ю р и н а Е.А. **Сезоннокриогенные горные породы.** М.: Наука, 1984.

Предлагается новый подход к изучению горных пород, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию. Дается детальная характеристика сезоннокриогенных пород и фаз их развития и серия оригинальных карт-схем, отражающих особенности этих пород и их качественные изменения на территории СССР. Показано научное и практическое значение проблемы сезоннокриогенных пород. Табл. 14. Ил. 33. Библ. 104 назв.

Рецензенты:

доктор географических наук

В.Н.Конищев,

кандидат геолого-минералогических наук

В.П.Чернядьев,

кандидат географических наук

Т.Н.Каплина

ВВЕДЕНИЕ

Насколько позволяют судить количество и содержание публикаций, результаты ведомственных, всесоюзных и международных конференций и конгрессов, геокриология делает все возрастающие успехи в разработке как теоретического, так и прикладного направления. Перенесение центра тяжести в разработке ряда месторождений полезных ископаемых на Крайний Север и в Сибирь, т. е. в районы распространения многолетнемерзлых пород (ММП), привело к ускорению и интенсификации комплексного изучения ММП, дополнению и уточнению ряда основных положений об их закономерностях, методик их изучения, к созданию ряда новых рекомендаций и уточнений к СНиП, необходимых практике. Усиленное внимание к вопросам охраны окружающей среды вызвало к жизни разработку проблем возможно более полного сохранения природных условий на осваиваемых территориях и рекреации нарушенных земель. Стали очевидными легкая ранимость природы в области ММП и большая сложность и стоимость работ по ее восстановлению. Значительные успехи достигнуты в разработке проблемы прогнозирования изменения геокриологических условий территории при ее хозяйственном освоении.

Постановка и решение этих сложнейших геокриологических задач вызвали повышенный интерес к изучению пород, ежегодно или периодически подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию, названных нами сезоннокриогенными (СКП). Это самый верхний слой горных пород, играющий в жизни людей большую роль, чем ММП. С сезоннокриогенными породами связана почти любая деятельность по освоению природных богатств в районах их распространения, а в нашей стране практически повсеместно. Считается, что наличие их оказывает в основном отрицательное влияние, удорожая и осложняя освоение территории. Изменения геокриологической обстановки — естественные и антропогенные — начинаются с изменений основных характеристик СКП. Многие особенности криогенного строения ММП, их льдистости предопределяются и порождаются особенностями сезонного промерзания, протаивания и льдообразования в СКП. С ними связана преобладающая часть литокриогенных процессов.

Сезоннокриогенные породы — прекрасная природная лаборатория для изучения большей части подземных льдов и литокриогенных процессов (ЛКП). Можно назвать еще ряд сложных проблем, решение которых тесно связано с познанием особенностей СКП. Но и вышесказанного достаточно, чтобы стала очевидной необходимость их детального комплексного изучения как с научных, так и практических позиций. Однако приходится констатировать недостаточное внимание ученых к этой сложной и важной проблеме. Хочется подчеркнуть, что, пока не будет создано организации, ответственной за изучение этой проблемы, решение ее будет продвигаться очень медленно. Нередко изучение СКП ограничивают расчетными методами определения одной их характеристики — мощности, точнее глубины сезонного промерзания или протаивания пород, далеко не всегда являющейся аналогом мощности СКП. Предложен, как известно, ряд формул для расчета глубины сезонного промерзания и протаивания пород. Обзор их дан в ряде работ [Павлов, 1965, 1975; Чернядьев, 1966; Вотякова, 1972; и др.]. Уже их количество в известной мере — показатель недостаточной надежности. Основная причина этого, по нашему мнению, заключается в недостаточной корректности данных, используемых при расчетах, из-за отсутствия надежного критерия их правильности и большой, практически ежегодной изменчивости глубин сезонного промерзания и протаивания пород. Это делает расчет по любой из формул, с одной стороны, малоинформативным, с другой — не позволяющим считать случайное фактическое значение глубины сезонного промерзания или протаивания (за какой-либо год) критерием правильности ее расчета по той или иной формуле с использованием осредненных за многолетний период кли-

матических и других данных. При прогнозе изменения глубин сезонного промерзания и протаивания пород как в естественных, так и в нарушенных условиях недостаточно рассчитать одно какое-либо ее значение, в частности среднее многолетнее, как нередко делается. Необходимо знание амплитуды ее колебаний за многолетний период, что особенно важно в практических целях.

Несомненно, что любые расчетные методы при познании естественных закономерностей изменения любого показателя природной среды, в том числе показателей СКП, являются лишь вспомогательными, дополняющими и не могут подменять их натурные исследования. Поэтому прежде всего необходимы инвентаризация и полноценная обработка всех имеющихся фактических данных о сезонном промерзании и протаивании горных пород. Лишь их детальный анализ позволяет выявить естественные закономерности развития СКП, изменения их основных качественных и количественных показателей. При этом расчетные методы определения мощности следует применять при отсутствии фактических данных как вынужденную необходимость с обязательным учетом качественных особенностей СКП.

К сожалению, о качественных особенностях этих пород до сих пор почти ничего неизвестно. Изучение их не пошло пока дальше деления на деятельный слой и сезонную мерзлоту, по М.И. Сумгину, или, как принято сейчас, на сезонноталый слой (СТС) в области близко залегающих ММП и сезонномерзлый (СМС) за ее пределами [Основные понятия..., 1956]. При этом, как показывают определения данных понятий, деление на СТС и СМС обусловлено качественными различиями не самих этих слоев, а подстилающих пород. Ранее А.И. Поповым [1967] и нами [Втюрина, 1974б] указывалось на неточность этих широко применяемых терминов и недостаточность определений их понятий, на необходимость их замены.

В настоящее время стало очевидным, что раздельное изучение СТС в области ММП преимущественно летом, а СМС вне ее в основном зимой, согласно существующим методикам, утратило свое первоначально прогрессивное значение. Более чем 20-летняя работа по изучению естественных особенностей сезонноталых и сезонномерзлых пород как в области ММП, так и вне ее привела нас к выводу о необходимости изменения не только методологии, но и стратегии изучения данной проблемы. Эти породы независимо от теплового состояния подстилающих их толщ образуют единую весьма сложную и специфическую часть литосферы, основной отличительной особенностью которой является сезонная ритмичность смены аградационной и деградационной фаз литокриогенеза. Только в этой части литосферы породы за один год находятся попеременно в мерзлом и талом состоянии, отчего они и названы нами сезоннокриогенными. Понятие "сезоннокриогенные породы" не является эквивалентом ни понятия "сезонномерзлый слой", ни понятия "сезонноталый слой". Более того, как показано в главе I, аградационная фаза СКП, т. е. сезонномерзлые породы, не синоним СМС, а сезонноталые породы как деградационная фаза СКП не синоним СТС, поскольку возможность развития каждой из двух фаз СКП не определяется тепловым состоянием подстилающих толщ. Для понятий же СТС и СМС тепловое состояние подстилающих толщ (мерзлые или немерзлые и талые) — основа их различий: СТС подстлается ММП, а СМС — немерзлыми или талыми породами [Основные понятия..., 1956; Основы геокриологии, 1959; Попов, 1967; Общие мерзлотоведение, 1978; Мерзлотоведение, 1981; и др.]. Таким образом, в основе понятий "сезоннокриогенные породы", "сезонномерзлотные породы" как аградационная фаза СКП и "сезонноталые породы" как деградационная фаза СКП и понятий "сезонномерзлый слой" и "сезонноталый слой" лежат разные критерии. Проблема сезоннокриогенных пород — новая проблема, значительно более обширная и сложная, чем проблема СТС и СМС. Вследствие этого как понятийный аппарат, так и основные теоретические положения проблемы СТС и СМС оказались недостаточными для проблемы СКП.

Рассмотрение сезоннокриогенных пород как единого специфического литокриогенного образования, раздельный детальный анализ основных качественных особенностей их аградационной (сезонномерзлые породы) и деградационной (сезонноталые породы) фаз независимо от теплового состояния подстилающих толщ, т. е. обеих фаз как в области ММП, так и вне ее, а затем сопряженный анализ их особенностей позволили вскрыть основные закономерности формирования и развития СКП и каждой из их фаз в современный период. Познание качественных особенностей этой специфической части геологической среды дало возможность впервые разработать классификации

процессов формирования сезонномерзлых, сезонноталых и сезоннокриогенных пород в целом, их генетические классификации, уточнить и дополнить классификацию их криогенного сложения [Втюрина, 1968а, б; 1974б] и ряда количественных показателей. Это позволило предложить общие многоступенчатые морфогенетические классификации сезоннокриогенных пород и их отдельных фаз, построенные с учетом природной дифференциации качественных и количественных показателей.

Разработка классификаций как отдельных качественных показателей этих пород, так и общих морфогенетических послужила основой для выработки новых принципов картографирования и районирования территории по особенностям СКП, позволяющих передать значительно больший объем информации об этих породах и их отдельных фазах, чем было возможно до сих пор. Впервые составлены общесоюзные мелкомасштабные (1:25 млн) карты-схемы структуры календарного периода формирования сезонномерзлых и сезонноталых пород, генетических типов СКП и их фаз, криогенного строения сезонномерзлых пород, обзорные карты сезоннокриогенных пород и их фаз.

В основу работы положены результаты более чем 20-летних исследований природных особенностей этих пород в летний и зимний сезоны, проведенных автором в Европейской части СССР, Западной Сибири, Якутии, Забайкалье, Приморье и на Чукотке. Использован также большой объем литературы по сезонному промерзанию и протаиванию пород, СТС и СМС, по общей геокриологической обстановке, особенно по температуре пород. Проанализированы геокриологические карты.

Большое внимание было уделено сбору, обработке и детальному анализу многолетних фактических данных о ходе сезонного промерзания и протаивания горных пород, полученных рядом агрометеостанций (АГМС) и гидрометеостанций (ГМС): Приморья (32 станции), Сахалина (14 станций), Западной Сибири (47 станций и 15 постов), Приамурья (16 станций), отдельными станциями Украины, Казахстана, Подмосковья. По каждой АГМС и ГМС нами анализировались результаты каждодневных наблюдений за ходом сезонного промерзания и протаивания. Именно их анализ в первую очередь послужил основой для выявления ряда качественных и количественных особенностей СКП. Материалы АГМС и ГМС о сезонном промерзании и протаивании пород — эталонные по этой проблеме вследствие их кондиционности и наибольшей длины временных рядов наблюдений. Остается лишь сожалеть, что технически весьма несложные наблюдения за ходом промерзания и протаивания пород по мерзлотомерам Данилина проводятся не всеми ГМС, а на ряде АГМС и ГМС каждодневные наблюдения давно заменены пентадными или декадными, что привело к невозможным потерям большого объема весьма ценной и необходимой информации. Одной из причин этого является, видимо, недостаточно полное использование каждодневных сведений о ходе данных процессов специалистами разного профиля, в том числе и геокриологами. Значительная часть материалов в соответствующей обработке приведена нами в ряде статей [Втюрина, 1974а, 1976, 1981а; Бауло, Втюрина, 1978; и др.] и отчетов.

Без сомнения, работа по сбору и обработке результатов в основном каждодневных наблюдений за сезонным промерзанием и протаиванием пород, проводимых АГМС и ГМС, должна быть продолжена. Их обработка и анализ в совокупности с анализом большого объема разовых и короткопериодных сведений, получаемых при полевых работах, позволит составить достаточно полное и правильное представление об основных особенностях процессов сезонного промерзания и протаивания и СКП в ряде регионов, уточнить и детализировать составленные нами карты-схемы, разработать региональные схемы классификаций СКП и их фаз, а на их основе и региональные принципы картографирования этих пород с учетом качественных и количественных показателей.

В 1978 г. в сборнике материалов к III Международной конференции по мерзлотоведению на основе анализа имеющихся данных по этой проблеме была дана оценка состояния ее изученности [Втюрина, 1978]. Анализ материалов об СТС и СМС, опубликованных в последние годы, показал, что из-за отсутствия принципиальных изменений в методике изучения СТС и СМС возросло в основном количество разногодичных данных о глубине сезонного промерзания и протаивания пород, увеличилось количество карт-схем, построенных с учетом этих данных, и картограмм расчетных средних многолетних глубин сезонного промерзания и протаивания, сведений о составе, криогенном строении СТС и СМС. Это не внесло принципиальных изменений в существующие представления об СТС и СМС, и на их рассмотрении мы не останавливаемся. Приводятся только те работы, которые конкретно касаются рассмотрения СКП в принятом

автором аспекте. Это прежде всего работы, вносящие принципиальные изменения в трактовку тех или иных основных положений проблемы СТС и СМС, помогающие вскрыть закономерности формирования и развития СКП как литокриогенного образования, причины их качественного многообразия, построить их систематику, разработать понятийный аппарат этой проблемы.

Основные положения работы докладывались на ряде ведомственных, междуведомственных совещаний и международных конференций. В 1981 г. ее содержание рассматривалось геокриологической секцией НТС ПНИИИС и сотрудниками Института мерзлотоведения СО АН СССР. В феврале 1982 г. некоторые из основных вопросов работы: а) об ошибочности принятого всеми мерзлотооведами критерия деления мерзлых пород на три главные градации, с учетом которого строится в основном теория и методология современного мерзлотоведения (см. главу I); б) о новом критерии этих градаций, предложенном автором, и в) о кардинальных изменениях основных теоретических положений проблемы СТС и СМС, к которым это приводит, были доложены на заседании секции Совета по криологии Земли АН СССР.

Автор благодарит Т.Н. Каплину, В.Н. Конищева, В.П. Чернядьева, Н.А. Граве, Б.И. Втюрина за замечания к работе, а также Л.Ф. Богомолу, А.В. Марину, Ю.Н. Вахрушева, В.Д. Бауло, Т.В. Михальченко, Н.С. Шевелеву, оказавших большую помощь в сборе и обработке первичных материалов, А.И. и Г.А. Блиненковых за помощь в оформлении графических иллюстраций.

Особую признательность автор выражает ответственному редактору монографии М.М. Корейше.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

Для того чтобы понять, что такое сезоннокриогенные породы (СКП), необходимо прежде всего иметь четкое представление: 1) что называть промерзанием и протаиванием горных пород и их временными модификациями, поскольку их проявление на Земле единственная причина формирования СКП, и 2) об основных градациях "мерзлоты", или мерзлых пород, на Земле и критериях их выделения. Это позволит, с одной стороны, определить, в чем принципиальное отличие СКП от других основных градаций мерзлых пород, с другой — показать, в чем новизна трактовки проблемы их изучения, предложенной нами, чем она отличается от двух других близких проблем: а) сезонного промерзания и протаивания горных пород и б) СТС и СМС в современном понимании. Как известно, эти две проблемы в настоящее время в основном отождествляются, несмотря на их принципиальное различие.

О ПОНЯТИЯХ "ПРОМЕРЗАНИЕ" И "ПРОТАИВАНИЕ" ГОРНЫХ ПОРОД

Существует несколько определений понятия "промерзание" горных пород. В 1952 г. А.В. Стоценко дал ему такое определение: "Под промерзанием грунтов (почвы) в дальнейшем мы будем понимать переход грунта (почвы) из рыхлого талого состояния в сцементированное, смерзшееся вследствие замерзания воды в порах грунта. Для крупносkeletalных и других грунтов, не смерзающихся из-за недостатка в их порах свободной воды, под промерзанием будем понимать нахождение их в зоне отрицательных температур" [1952, с. 12]. Фактически это два разных определения одного и того же понятия. Оба они расходятся с определением мерзлых пород, под которыми до сих пор принято понимать породы, в которых хотя бы часть содержащейся воды замерзла. Как известно, замерзание воды первоначально лишь в наиболее крупных порах тонкодисперсных пород не приводит к их цементации, хотя процесс промерзания уже начался. Уточнение: для "крупносkeletalных и других грунтов, не смерзающихся из-за недостатка в их порах свободной воды", вообще беспредельно расширяет понятие "промерзание горных пород", поскольку находится в зоне отрицательных температур могут любые по составу породы, независимо от наличия и изменения фазового состояния воды в них. Другими словами, в этом случае процесс промерзания отождествляется с процессом простого охлаждения пород, что неправомерно.

Позднее подобное определение данного понятия было дано С.П. Хромовым и Л.И. Мамонтовой: промерзание почвы — это "распределение в почве нулевой и отрицательной температур" [1974, с. 373].

Терминологическая комиссия Института мерзлотоведения им. В.А. Обручева определила промерзание как "физические процессы, выражающиеся в продвижении и распространении границы мерзлого состояния почв, горных пород, грунтов", а протаивание как "физические процессы, выражающиеся в продвижении и распространении границы талого состояния почв, горных пород, грунтов" [Основные понятия..., 1956, с. 11]. И.Я. Баранов [1963, с. 15—16] указывал, что "промерзание почв и горных пород, цементация их льдом, физико-химические и физико-механические преобразования в них определяются двумя неперенными условиями: наличием воды и возможностью ее фазового превращения в лед при соответствующем понижении температуры горных пород".

А.И. Попов [1967] предложил два определения процесса промерзания: 1) "процесс промерзания земной коры — это процесс льдообразования в ней" (с. 7) и 2) "процесс промерзания горных пород — сложный физический и физико-химический процесс.

Наиболее характерной его особенностью является переход жидкой фазы воды в твердую, в лед при нулевой или отрицательной температуре" (с. 14). По мнению А.И. Попова (с. 15), "хотя процесс промерзания и протаивания пород заключается в основном в образовании льда и его таянии, процесс этот вместе с тем сопровождается сопутствующими явлениями и, следовательно, носит многосторонний характер".

Хотя, как видим, до сих пор нет однозначного определения такого важнейшего в геокриологии понятия, как "промерзание горных пород", обращает на себя внимание, что некоторые исследователи указывают, во-первых, на сложность этого процесса, во-вторых, на необходимость для его развития фазового перехода воды в лед, т. е. на его криогенный характер.

Исходя из вышесказанного, можно предложить такое определение этого понятия: **промерзание горных пород** — сложный литокриогенный процесс (ЛКП) совокупного изменения их состояния, состава и свойств при фазовом переходе воды и водяного пара в них в лед, включая сам этот процесс.

Протаивание горных пород — сложный процесс совокупного изменения их состояния, состава и свойств при фазовом переходе воды в них из твердого состояния в жидкое, включая сам этот процесс.

Со времени становления геокриологии как науки было принято подразделять эти процессы по времени их проявления в горных породах на три основных класса: 1) многолетнее, 2) сезонное и 3) кратковременное промерзание и протаивание. Такой вывод можно сделать, исходя из принятого к 1940 г. деления мерзлых пород [Общее мерзлотоведение, 1940]. Эту классификацию процессов промерзания и протаивания пород, в основу которой положены чисто временные критерии, к сожалению, до сих пор недостаточно определенные, можно считать сейчас общепринятой. Позднее наряду с названными тремя классами И.Я. Баранов [1958, с. 31] особо оговорил "перелетковое промерзание", но этот термин и соответствующее ему понятие не нашли применения.

Из временных модификаций этих процессов имеются определения лишь сезонного промерзания и протаивания горных пород. Согласно В.А. Кудрявцеву [Доставалов, Кудрявцев, 1967, с. 236], "сезонное промерзание представляет собой промерзание талых пород, имеющих среднюю годовую температуру выше 0° ", а "сезонное протаивание представляет собой протаивание мерзлых пород, имеющих среднюю годовую температуру ниже 0° ". Те же определения приведены позднее в учебниках "Общее мерзлотоведение" [1978] и "Мерзлотоведение" [1981].

Учитывая, что фазовый переход воды в лед в горных породах происходит нередко не при 0°C , а в некотором диапазоне отрицательных температур, А.В. Павлов [Общее мерзлотоведение, 1974, с. 44] предложил следующие определения: "сезонное промерзание представляет собой промерзание горных пород, средняя годовая температура которых выше температуры замерзания t_3 ($t_3 \leq 0^{\circ}$)", а "сезонное протаивание представляет собой протаивание мерзлых пород, средняя годовая температура которых ниже температуры замерзания".

Как видим, определения этих процессов, предложенные В.А. Кудрявцевым и А.В. Павловым, довольно близки по смыслу и одинаково, на наш взгляд, недостаточны, поскольку не вскрывают сущности данных процессов. Для проявления сезонного промерзания и протаивания не важно значение средней годовой температуры пород, поскольку она определяет не возможность этих процессов, а лишь некоторые их особенности. Это подтверждается тем, что как сезонное промерзание, так и сезонное протаивание пород одинаково широко развиты и в области ММП, где средняя годовая температура пород отрицательная, и вне этой области, где она положительная. Ясно, что многолетнее, сезонное и кратковременное промерзание (протаивание) — это временные градации единого литокриогенного процесса, и суть каждой из них может быть отражена лишь указанием временных критериев их проявления, а никак не средней годовой температуры пород. Более точно, по нашему мнению, передают сущность понятий "сезонное промерзание пород" и "сезонное протаивание пород" следующие их определения. **Сезонное промерзание пород** — сложный процесс совокупного изменения их состояния, состава и свойств при фазовом переходе воды и водяного пара в них в лед, длящийся более одних суток, но менее одного года, с сезонной ритмичностью проявления. **Сезонное протаивание пород** — сложный процесс совокупного изменения их состояния, состава и свойств при фазовом переходе льда в них в воду, непрерывно длящийся более одних суток, но менее одного года, с сезонной ритмичностью проявления.

Как видим, большая часть этих двух определений, по существу, является определением процессов промерзания и протаивания пород вообще. Поэтому без ущерба смысле их можно значительно сократить, что, кстати, позволяет акцентировать внимание на тех особенностях этих временных модификаций процессов промерзания и протаивания, которые отличают их от двух других модификаций (кратковременного и многолетнего). Итак, сезонным называется промерзание (протаивание) горных пород, непрерывно длящееся более одних суток, но менее одного года, с сезонной ритмичностью проявления. Верхний временной критерий, ограничивающий понятие "сезонное промерзание (протаивание)" пород — менее одного года, давно стал привычным, правильность его не вызывает сомнения. Действительно, в природе сезонное промерзание редко проявляется более 8—9 месяцев, даже с учетом фазовых переходов все более прочно связанной воды в породах. Сезонное протаивание на Земле проявляется не более 5—6 месяцев. Соотношение длительности этих процессов в разных зонах и районах различно: длительность сезонного промерзания может быть и больше и меньше длительности периода сезонного протаивания. В большей южной части области проявления этих процессов длительность периода сезонного промерзания пород больше, чем протаивания. Близ южной границы ММП эти периоды практически равны, а севернее геоизотермы минус $0,5^{\circ}$ период проявления сезонного протаивания пород в основном больше периода их сезонного промерзания.

Непривычен, а потому может вызвать возражения нижний временной критерий, ограничивающий понятия "сезонное промерзание и протаивание пород" — проявление процесса более одних суток. Правильность этого критерия становится очевидной, если обратиться к вопросу о глубине сезонного промерзания и протаивания пород. Общепринято до сих пор (см. главу II) глубиной сезонного промерзания считать максимальную за холодный сезон глубину проявления этого процесса, а глубиной сезонного протаивания максимальную за теплый сезон глубину протаивания пород. В то же время известно, что близ нижней границы сезонного промерзания и протаивания в ряде районов и зон длительность проявления этих процессов исчисляется всего 1—2 днями. В южных районах с возвратным сезонным протаиванием породы, едва успев промерзнуть, начинают протаивать снизу. То же в крайних северных районах, где едва успевает закончиться сезонное протаивание пород, как через 1—2 дня оно сменяется возвратным промерзанием (см. ниже). Однако несмотря на столь короткое проявление процессов промерзания и протаивания в нижней части СТС и СМС, они фактически рассматриваются как сезонные, а не кратковременные, что следует из существующей методики определения глубин сезонного промерзания и протаивания и определения этих понятий.

Если критерием, нижним пределом сезонного промерзания и протаивания пород считать длительность проявления этих процессов, равную, допустим, неделе или месяцу при сезонной ритмике проявления, это очень осложнит определение глубины сезонного промерзания и протаивания пород. При таком критерии глубиной сезонного промерзания (протаивания) пород за данный холодный (теплый) сезон необходимо будет считать не максимальную за сезон глубину промерзания (протаивания), а глубину, на которой ритмичность смены процесса промерзания (протаивания) и наоборот была недельной или месячной. Иными словами, глубина сезонного промерзания (протаивания) пород определялась бы как разница между максимальной за сезон глубиной проявления этих процессов и мощностью горизонта, в котором эти процессы проявляются не меньше недели или месяца, что едва ли целесообразно. Более обосновано, по нашему мнению, нижним временным критерием сезонного промерзания и протаивания пород считать сутки, относя к кратковременным — процессы с суточной ритмикой проявления (промерзание лишь ночью, протаивание лишь днем), а к сезонным — процессы со сверхсуточной, сезонной ритмикой проявления. Наблюдения за ходом сезонного промерзания и протаивания проводятся обычно один раз в сутки, причем днем. Поэтому та незначительная по мощности нижняя часть пород, которая подвергается не сезонному, а кратковременному промерзанию и протаиванию, при существующей методике определения глубины проявления этих процессов за сезон в основном автоматически исключается.

Таким образом, длительность и ритмичность проявления служат основанием для разграничения кратковременного (проявляется только определенную часть суток), сезонного (только определенную часть года) и многолетнего (определенный период, превышающий один год) промерзания и протаивания горных пород.

Для развития промерзания необходимы и достаточны всего два условия: 1) наличие

воды в породе до начала ее охлаждения или привнос воды в уже охлажденную породу и 2) охлаждение пород до температуры замерзания какой-либо из модификаций воды в них. А для развития сезонного протаивания — другие два условия: 1) наличие льда в породах и 2) нагревание пород до температуры таяния льда в них. Именно ограниченность необходимых и достаточных для развития этих ЛКП условий предопределяет огромную пространственную широту их проявления на Земле, особенно сезонного промерзания и протаивания пород.

Развитие процессов промерзания в литосфере приводит, как известно, к формированию специфического литокриогенного образования — мерзлых пород. Среди них определенное место занимают породы, подвергающиеся сезонному промерзанию и протаиванию. Вследствие приповерхностного залегания и большого влияния на практическую деятельность человека они издавна привлекают внимание исследователей. Это обусловлено как накоплением данных о них, так и теоретических разработок по этой проблеме.

Рассмотрим становление теоретических основ проблемы сезоннокриогенных пород, их изменение за время развития геокриологии, точнее литокриологии, как науки [Втюрина, Втюрин, 1982а], современные представления по этому вопросу и трактовку проблемы СКП, предлагаемую автором.

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ М.И. СУМГИНА О СЕЗОННОЙ МЕРЗЛОТЕ И ЕЕ МЕСТЕ СРЕДИ ДРУГИХ ГРАДАЦИЙ МЕРЗЛЫХ ПОРОД

Впервые теоретические представления о породах, подвергающихся сезонному промерзанию, были сформулированы М.И. Сумгиным [1927, 1934, 1937; *Общее мерзлотоведение*, 1940], предложившим и их первые классификации.

Как известно, по продолжительности существования в мерзлом состоянии М.И. Сумгин разделил мерзлоту на три основные градации: кратковременную, сезонную и вечную. Каждая из этих градаций, или основных видов, мерзлых пород приобретает определенность и четкость только при четкости и обоснованности разграничивающих их критериев, или пределов. Лишь знание пределов, отграничивающих сезонную мерзлоту от кратковременной, с одной стороны (нижний предел), и от вечной мерзлоты — с другой (верхний предел), позволяет составить представление о том, что такое сезонная мерзлота, или породы, подвергающиеся сезонному промерзанию и протаиванию. Взгляды М.И. Сумгина по этому вопросу неоднократно менялись по мере накопления данных, но четких количественных значений этих градаций он не указал. К кратковременной мерзлоте он отнес [*Общее мерзлотоведение*, 1940] "мерзлоту почв или грунтов, проявляющуюся при первых заморозках осенью, или при возвратных — весной и летом" (с. 10) и "при ночных заморозках в средних и высоких широтах" (с. 13). "Кратковременная мерзлота — случайное явление: в данном году на данном месте она может быть, а в следующем может не повториться" (с. 10), вследствие чего он называл ее также спорадической мерзлотой.

Но длительность существования мерзлых пород, возникающих при осенних, весенних, летних и ночных заморозках, неодинакова — от нескольких часов до нескольких и даже первых десятков дней. А потому остался неясным нижний временной критерий сезонной мерзлоты, отграничивающий ее от кратковременной. Четко оговорен лишь верхний ее предел — пребывание в мерзлом состоянии не более одного года. Согласно М.И. Сумгину, "сезонная мерзлота есть правильно периодически повторяющееся из года в год явление" [*Общее мерзлотоведение*, 1940, с. 10], появляется с наступлением зимы и полностью исчезает в весенние и летний месяцы.

То же, казалось бы, относится и к "деятельному", или "активному", слою над вечной мерзлотой, который М.И. Сумгин считал "соответствующим сезонной мерзлоте". Им дано следующее определение деятельного слоя: "Над пластом вечномерзлого грунта находится слой некоторой мощности, который ежегодно летом оттаивает, а зимой замерзает. Этот слой, соответствующий сезонной мерзлоте, в области вечной мерзлоты называется деятельным, или активным, слоем" [там же, с. 13]. Однако, как следует из данного им определения мощности деятельного слоя, он фактически не считал этот слой "правильно периодически повторяющимся из года в год явлением". Согласно М.И. Сумгину, "под мощностью деятельного слоя в случае сливающейся вечной мерзлоты" следует понимать "наибольшую мощность оттаивающего слоя грунта за многолетний период" [там же, с. 14].

Из приведенных высказываний ясно, что, во-первых, "деятельный слой" в области "сливающейся вечной мерзлоты" и сезонная мерзлота как по времени их существования, так и по периодичности — разные образования: сезонная мерзлота "появляется и исчезает из года в год", т.е. существует менее года, а "деятельный слой" лишь в своей верхней части ("слой наименьшего оттаивания") появляется и исчезает из года в год, а в нижней, названной переходным слоем или перелетком, может не протаивать x лет. Согласно М.И. Сумгину, "величина x есть еще точно не установленная продолжительность существования перелетков мерзлоты, но примерно равная 2, 3, 5 годам" [там же, с. 15]. Однако, говоря о нижнем пределе вечной мерзлоты или верхнем пределе переходного слоя или перелетка, он называет значительно большую возможную продолжительность их существования — до 15—30 лет. Поскольку переходный слой и перелеток рассматриваются им как часть "деятельного слоя", то, следовательно, сезонная мерзлота, существующая меньше года, ничего общего не имеет с "деятельным слоем в случае сливающейся вечной мерзлоты" и ни о каком соответствии между ними говорить нельзя, хотя оно и подчеркивается М.И. Сумгиным.

Неточным становится и термин "переходный слой", предложенный В.К. Яновским [1933]. В отличие от М.И. Сумгина, он относил "переходный слой" к "деятельному слою" только в те годы, когда он летом находился в талом состоянии. При сохранении "переходного слоя" в мерзлом состоянии в теплый сезон он считал его верхней частью вечной мерзлоты. Отсюда и название "переходный слой". При рассмотрении же его как части деятельного слоя независимо от состояния (талое или мерзлое) термин "переходный слой" теряет смысл.

Во-вторых, разными литокриогенными образованиями являются не только "сезонная мерзлота" и "деятельный слой в случае сливающейся вечной мерзлоты", но и два вида "деятельного слоя", названные М.И. Сумгиным. Он писал по этому поводу: "Для районов вечной мерзлоты, где сезонная мерзлота ежегодно соединяется с вечной, вопрос о мощности деятельного слоя более или менее ясен. Но возникает вопрос, что считать деятельным слоем там, где между сезонной и вечной мерзлотой остается некоторой мощности талый слой? [1937, с. 31]. По существу, в основу их выделения положены разные критерии. В отличие от "деятельного слоя в случае сливающейся вечной мерзлоты" тот же по названию слой, но при "несливающейся вечной мерзлоте" определен М.И. Сумгиным как "слой наибольшего промерзания грунта за многолетний период, при условии его протаивания в лето, следующее за сезоном промерзания" [Общее мерзлотоведение, 1940, с. 14]. Оговорка определенного условия оттаивания пород для "деятельного слоя в случае несливающейся вечной мерзлоты" сделала его аналогом сезонной мерзлоты, а не первого вида "деятельного слоя".

Но временная динамика глубины сезонного промерзания и протаивания не всегда обуславливает полное протаивание пород, промерзающих в год максимальной за многолетний период глубины сезонного промерзания. В таком случае на протяжении ряда лет сохраняется мерзлым некоторый горизонт пород, промерзший в год с максимальной глубиной промерзания. М.И. Сумгин называет его перелетком, считая аналогом переходного слоя в районах со сливающейся вечной мерзлотой и рассматривая как часть "сезонной мерзлоты". Он пишет: "В тех районах, где имеют место разрывы между слоями сезонной и вечной мерзлоты, переходный слой обычно называют ... перелетком. Перелеток сезонной мерзлоты, следовательно, есть тот остаточный горизонт ее, который в отдельные годы сохраняется до начала нового сезонного промерзания на глубине его залегания" [там же, с. 82]. Признание перелетка частью "деятельного слоя в случае несливающейся вечной мерзлоты" делает этот слой сходным не с сезонной мерзлотой в понимании М.И. Сумгина, а с "деятельным слоем в случае сливающейся вечной мерзлоты", т.е. не сезонным, а многолетним литокриогенным образованием. Это, без сомнения, послужило основанием для обозначения их единым термином — "деятельный слой" в отличие от сезонной мерзлоты. Правда, двойственность понятия "деятельный слой в случае несливающейся вечной мерзлоты" привела к тому, что М.И. Сумгин нередко называет его сезонной мерзлотой.

Таким образом, к 1940 г. М.И. Сумгин разделил понятия: "сезонная мерзлота", "деятельный слой в случае сливающейся вечной мерзлоты" и "деятельный слой в случае несливающейся вечной мерзлоты". Первое название он применял к числу сезонному, по его мнению, литокриогенному образованию, второе и третье названия, по существу, к многолетним образованиям, выделяя одно из них по особенностям сезонного протаива-

ния пород, другое — по особенностям их сезонного промерзания, т. е. по разным критериям. Следовательно, термин "сезонная мерзлота" уже не мог рассматриваться как собирательный для всех трех названных видов слоя, в котором проявляются процессы сезонного промерзания и протаивания. Но М.И. Сумгин сохраняет его как собирательный за неимением другого, называя лишь три основных вида мерзлых пород: кратковременную, сезонную и вечную мерзлоту.

Поскольку отнесение переходного слоя и перелетка к деятельному слою сделало последний образованием не сезонным, а многолетним, естественно, встал вопрос о критерии, позволяющем ограничить переходный слой и перелеток от вечной мерзлоты. Таким критерием М.И. Сумгин, как известно, считал продолжительность существования пород в мерзлом состоянии. Следовательно, требовалось указать, какая продолжительность существования в мерзлом состоянии позволяет уверенно отнести ту или иную мерзлую породу к вечной мерзлоте или переходному слою, перелетку. Но на уровне мерзлотоведения 30—40-х годов М.И. Сумгин считал невозможным назвать обоснованное значение этого критерия и писал по этому поводу: "Однако о постоянстве этого слоя (мерзлого. — Е.В.) можно говорить лишь тогда, когда в число лет (n) войдут не только несколько холодных, но и несколько теплых как летних, так и зимних периодов; не только бесснежные, но и снежные зимы; не только сухие, но и дождливые летние периоды. Такое разнообразие погод можно ожидать при периоде порядка 15—30 лет. Весьма возможно, что в дальнейшем и будет принята за нижний предел (вечной мерзлоты. — Е.В.) ... одна из этих или близкая к ним цифра... Пока же лучше остановиться хотя бы на условной, но конкретной цифре". [Общее мерзлотоведение, 1940, с. 201]. Но вместо одной конкретной цифры он называет три: 2, 3, 5 лет, лишив, таким образом, необходимой строгости и конкретности верхний предел деятельного слоя и нижний предел вечной мерзлоты.

Ознакомление с более ранней работой М.И. Сумгина [1934] показывает, что эта неопределенность даже условного нижнего предела вечной мерзлоты — не случайность. В 1934 г. он оговаривал твердый нижний предел ММП — существование в мерзлом состоянии "от 2 лет до десятков тысячелетий" (с. 8), а деятельный слой рассматривал как слой пород, ежегодно оттаивающий летом и промерзающий зимой. Изменение взгляда на этот слой к 1940 г., включение в его состав переходного слоя и перелетка привели к отказу от этого предела вечной мерзлоты. Показанная в 1940 г. множественность его значений отразила уверенность М.И. Сумгина в невозможности волевого назначения этого предела без дополнительных серьезных исследований в течение 15—30 лет.

Однако высказанная в 1940 г. М.И. Сумгиным убежденность в необходимости учета многолетней динамики глубины сезонного промерзания и протаивания при определении нижнего предела ММП, по существу, поставила под сомнение не только его условные значения, но и правильность самого критерия деления мерзлых пород на три основных вида — продолжительность их существования в мерзлом состоянии.

Подводя итог воззрениям М.И. Сумгина о горных породах, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию, отметим то, что имеет непосредственное отношение к разработке проблемы сезоннокриогенных пород и послужило ее основой.

1. М.И. Сумгин предложил основной критерий систематики мерзлых пород и выделил три основных их вида, одним из которых является сезонная мерзлота как собирательный термин для пород, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию. Основным критерием видов мерзлых пород он считал продолжительность их существования в мерзлом состоянии и не придавал значения тому, что его же исследования проблемы сезонной мерзлоты уже в 1934 г. поставили под сомнение правильность данного критерия.

2. М.И. Сумгин, как никто после него, понимал большую сложность, многообразие пород, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию. Это нашло выражение: а) в делении их на сезонную мерзлоту и два вида деятельного слоя; б) в нечеткости определения этих понятий и недостаточной обоснованности термина "сезонная мерзлота" как собирательного для этих пород, вполне понятных с позиций мерзлотоведения 30—40-х годов.

3. Он убедительно показал необходимость учета временной динамики глубины сезонного промерзания и протаивания примерно за 15—30 лет при определении понятия "деятельный слой", но фактически не учитывал ее применительно к сезонной мерзлоте вне области ММП, как близко, так и глубоко залегающих.

4. Чисто сезонным литокриогенным образованием он практически считал лишь сезонную мерзлоту вне области ММП. Деятельный слой как в случае сливающейся, так и в случае несливающейся вечной мерзлоты, исходя из его представлений о переходном слое, перелетках и верхнем пределе их существования, следует рассматривать как многолетнее литокриогенное образование.

5. М.И. Сумгин убедительно показал невозможность волевого решения вопроса о нижнем пределе вечной мерзлоты, или верхнем пределе деятельного слоя. Он оговорил условность названных значений и показал путь его корректного обоснованного определения.

6. Он первым предложил деление деятельного слоя в случае сливающейся вечной мерзлоты на: а) горизонт наименьшего протаивания и б) переходный слой, мощность которого, по М.И. Сумгину, равна разнице между мощностью слоя наибольшего сезонного протаивания за многолетний период и мощностью слоя наименьшего протаивания. Как синоним "деятельного слоя в случае сливающейся вечной мерзлоты" он применил название "слой наибольшего оттаивания за многолетний период".

7. В то же время М.И. Сумгин оставил весьма неопределенными понятия: "деятельный слой в случае несливающейся вечной мерзлоты" и "перелеток" при этом условии. Фактически он предложил деление на два горизонта не этого вида деятельного слоя, а особого "слоя наибольшего промерзания в многолетнем периоде с учетом перелетков мерзлоты", который он не отождествлял с "деятельным слоем в случае несливающейся вечной мерзлоты" [Общее мерзлотоведение, 1940, с. 15, фиг. 2]. Это следует из приведенного выше определения мощности данного вида деятельного слоя, согласно которому перелеток не входит в его состав.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СЛОЕ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И СЛОЕ СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ

Нечеткость представлений М.И. Сумгина, неоднозначность определения им одних и тех же понятий явились причиной многолетней дискуссии по этим вопросам, продолжающейся до последнего времени.

Пересмотру подверглись практически все теоретические положения М.И. Сумгина по проблеме пород, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию, кроме основного — положения о критерии деления мерзлых пород на три основных вида, которым он считал продолжительность существования пород в мерзлом состоянии. Сущность этого критерия кажется такой подкупающе простой и ясной, что он не вызвал никаких возражений по сей день, несмотря на полное отсутствие его научного обоснования и явные противоречия с фактами. В настоящее время этот критерий признан всеми мерзлотоведами, приводится в основных обобщающих работах по геокриологии, в Большой Советской энциклопедии, в словарях, учебных пособиях и учебниках для вузов. В.А. Кудрявцев и др. [Мерзлотоведение, 1981, с. 11] писали: "По длительности существования мерзлого состояния пород принято различать три разновидности: 1) кратковременномерзлые породы (часы, сутки); 2) сезонномерзлые породы (месяцы); 3) многолетнемерзлые породы (годы, сотни и тысячи лет)". Как и другие исследователи, начиная с М.И. Сумгина, они допускали возможность промежуточных форм мерзлых пород, в частности перелетки. Не случайно эти основные градации мерзлых пород И.Я. Баранов [1958] назвал "хронологическими видами мерзлых пород".

Лишь О.Г. Боярский и Л.Н. Максимова [1970] при разграничении перелетков и "кратковременно существующих ММП" указывают, что, по-видимому, время существования мерзлых толщ не может являться единственным критерием для выделения перелетков" (с. 193). Вслед за Б.Н. Достоваловым и В.А. Кудрявцевым [1967] они считают, что при решении этого вопроса следует учитывать характер и причины их возникновения: перелетки — результат частных похолоданий, вызванных локальными или региональными изменениями теплообмена, появляются эпизодически, а кратковременно существующие ММП — результат закономерных его изменений и появляются периодически (Методика мерзлотной съемки, 1979).

Основная дискуссия развернулась не по поводу сущности названного критерия, а по оценке его количественных градаций, соответствующих разным видам, точнее, классам мерзлых пород, являющихся их нижними и верхними пределами, и по понятийному аппарату проблемы.

В 1956 г. решением Терминологической комиссии Института мерзлотоведения им. В.А. Обручева термины "сезонная мерзлота" и "деятельный слой" были заменены новыми (Основные понятия..., 1956). Но это была не простая замена названий, а некоторая перегруппировка понятий, предложенных М.И. Сумгиным. В результате вместо сезонной мерзлоты и двух видов деятельного слоя (при сливающейся и несливающейся вечной мерзлоте) были предложены два понятия. Критерием их разграничения стало только тепловое состояние подстилающих толщ. Так, начиная с 1956 г. и по настоящее время верхний слой пород, подвергающийся сезонному промерзанию и протаиванию, подстилаемый ММП, называют сезонноталым (сезоннопротаивающим) слоем (СТС), а слой, также подвергающийся сезонному промерзанию и протаиванию, но подстилаемый тальми или немерзлыми породами, — сезонномерзлым (сезоннопромерзающим) слоем (СМС). При этом перестало приниматься во внимание наличие или отсутствие ММП вообще, стал учитываться лишь характер их залегания. СТС считается свойственным только областям с близким залеганием ММП, подстилающих СТС, т. е. "со сливающейся вечной мерзлотой", по М.И. Сумгину, а СМС — территориям без ММП и с глубиной их залеганием, превышающим глубину сезонного промерзания пород. Как видим, хотя комиссией и указывается, что СМС — синоним сезонной мерзлоты, а СТС — деятельного слоя, по М.И. Сумгину, полной синонимии между этими понятиями нет: к СМС наряду с сезонной мерзлотой, по М.И. Сумгину, причислен и "деятельный слой в случае несливающейся вечной мерзлоты", а СТС соответствует не вообще деятельному слою, по М.И. Сумгину, а лишь одному его виду — "деятельному слою в случае сливающейся вечной мерзлоты". Поставив знак равенства между СМС и сезонной мерзлотой, Терминологическая комиссия тем самым отнесла СМС к чисто сезонным литокриогенным образованиям. Так, без достаточных обоснований были решены сомнения М.И. Сумгина, считать ли "деятельный слой в случае несливающейся вечной мерзлоты" сезонным или многолетним литокриогенным образованием.

Был решен также вопрос о нижнем пределе многолетнемерзлых пород, названных так взамен термина "вечная мерзлота". Согласно решению комиссии, к ним следует относить породы, существующие в мерзлом состоянии не менее трех лет. Тот же критерий был назван И.Я. Барановым [1963]. Поскольку относительно перелетков никаких решений комиссия не приняла, образовался разрыв между СМС и ММП как хронологическими градациями мерзлых пород. Этот разрыв вновь заполнили перелетки, но, в отличие от М.И. Сумгина, понимаемые как самостоятельная, хотя и промежуточная форма мерзлых пород, существующая более одного года, но менее 3 лет [Баранов, 1963], или менее 2 лет [Швецов, 1955; Мерзлые горные породы..., 1974], или в течение нескольких лет [Гарагуля, 1967, 1982; Попов, Тушинский, 1973; Мерзлотоведение, 1981].

Обращает на себя внимание тот факт, что, в отличие от М.И. Сумгина, понятия "перелеток" и "переходный слой" в настоящее время считают разными. Перелетком теперь называют маломощные (до 1 м и немного более) мерзлые толщи, сохраняющиеся в теплый сезон лишь вне области ММП и при их глубоком залегании. Переходным же слоем называют неежегодно протаивающие горизонты мерзлых пород в области близко залегающих ММП. При этом интерес к перелеткам значительно больший, чем к переходному слою, о котором даже в обобщающих работах и учебниках не всегда упоминается.

Назначение конкретного нижнего критерия ММП и отнесение мерзлых пород, существующих более 1 года, но менее 2—3 лет, к перелеткам как к самостоятельному виду мерзлых пород сделало термин "сезонноталый слой" неэквивалентным даже термину "деятельный слой в случае сливающейся вечной мерзлоты", а не только термину "деятельный слой", вопреки определению Терминологической комиссии. Учитывая такой нижний предел переходного слоя или перелетка, к СТС можно относить лишь ежегодно протаивающий и промерзающий слой пород.

Так, начиная с 1956 г. была упрощена проблема пород, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию, по сравнению с представлениями М.И. Сумгина о ней. Практически она была отождествлена с проблемой сезонного протаивания в области близко залегающих ММП и сезонного промерзания вне ее. Стало считаться, что в любой год СТС составляют породы, протаивающие за теплый сезон и промерзающие за следующий холодный, а СМС — породы, промерзающие в холодный сезон любого года и полностью протаивающие за следующее лето. Понятие "мощность СТС" стало отождествляться с понятием "глубина сезонного протаивания" в области ММП, а понятие "мощ-

ность СМС" стало синонимом "глубины сезонного промерзания" вне области близко залегающих ММП. Вследствие этого отпала необходимость поиска каких-либо качественных особенностей и различий пород, подвергающихся попеременному в году промерзанию и протаиванию. Качественные различия СМС и СТС были сведены к различию теплого состояния подстилающих толщ, которое стало критерием их разделения.

Такая точка зрения является господствующей в настоящее время, хотя не все исследователи отказались от взглядов М.И. Сумгина по данной проблеме. Так, А.И. Попов [1967] не поддержал определенный комиссией нижний предел вечной мерзлоты "не менее трех лет", указав лишь, что продолжительность существования вечной мерзлоты составляет "от нескольких лет до многих тысячелетий" (с. 47). Однако в отношении пород, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию, А.И. Попов придерживается практически тех же взглядов. Он пишет: "... над вечной мерзлотой образуется слой сезонного (летнего) протаивания, замерзающий зимой, а вне области вечной мерзлоты — слой сезонного промерзания, оттаивающий летом" (с. 41). Первый он называет "деятельным слоем над вечномерзлым субстратом", второй — "деятельным слоем над талым субстратом" наряду с использованием названий "сезоннопротаивающие и сезоннопромерзающие почвы и горные породы" (с. 44). О том, что под деятельным слоем он понимает слой е ж е г о д н о г о промерзания и протаивания, говорит определение этого слоя в начале указанной монографии (с. 6). Те же представления по этому вопросу изложены А.И. Поповым в более поздней работе [Попов, Тушинский, 1973]. Перелетки он не относит к деятельному слою, считая их "прототипом вечномерзлой толщи", существующим от одного года до нескольких лет (с. 44). Понятия "глубина сезонного промерзания и протаивания" и "мощность деятельного слоя" он также считает синонимами, на что прямо указывает в работе 1967 г. (с. 43).

Характеризуя деятельный слой над вечномерзлым субстратом и деятельный слой над талым субстратом, А.И. Попов неоднократно подчеркивает, что он применяет эти названия взамен предложенных В.А. Кудрявцевым терминов "слой сезонного протаивания" и "слой сезонного промерзания", сохраняя смысл высказанных В.А. Кудрявцевым [Основы геокриологии, 1959] определений этих понятий. Но у В.А. Кудрявцева двойственный подход к оценке перелетков: то это "слои сезонного промерзания, не протаивающие в течение следующего лета" [Достовалов, Кудрявцев, 1967, с. 276; Общее мерзлотоведение, 1978, с. 227], то промежуточная форма между сезонномерзлыми и многолетнемерзлыми породами, существующая от одного до нескольких лет и возникающая при неполном протаивании сезонномерзлых пород [Кудрявцев, 1967, с. 3; Достовалов, Кудрявцев, 1967, с. 14; Мерзлотоведение, 1981, с. 11]. От позиций по этому вопросу зависит оценка сезонномерзлых пород: что это — чисто сезонное или многолетнее литокриогенное образование. Установить это помогает анализ представлений В.А. Кудрявцева по проблеме СТС и СМС. Фактически и слой сезонного промерзания, независимо от сохранения перелетка, и слой сезонного протаивания, для которого возможность переходного слоя вообще не оговаривается, рассматриваются им как чисто сезонное литокриогенное образование. Он отождествил проблему СТС и СМС с проблемой сезонного протаивания и промерзания пород, т. е. значительно сузил ее по сравнению с трактовкой этой проблемы М.И. Сумгиным. Об этом свидетельствует переименование В.А. Кудрявцевым классификации слоев сезонного промерзания и протаивания [Основы геокриологии, 1959] в классификацию типов сезонного промерзания и протаивания пород [Достовалов, Кудрявцев, 1967; Общее мерзлотоведение, 1978; Мерзлотоведение, 1981].

Однако вопрос о переходном слое, о его месте среди мерзлых пород продолжает интересоваться исследователей. Так, А.П. Горбунов [1967, с. 86], вслед за М.И. Сумгиным, но называя этот слой "летующим", считает его частью деятельного слоя области вечной мерзлоты. В отличие от М.И. Сумгина, он разделяет деятельный слой не на два, а на три специфических горизонта: 1) самый верхний — режеляционный мощностью 5–10 см, с большим числом переходов температуры через 0°C за год — от многих десятков до ста и более; 2) срединный, мощностью от нескольких десятков сантиметров до 2–3 м и иногда больше, с годовым числом переходов температуры через 0°C большей частью не более двух, кроме его верхней части на глубине 0,2–0,4 м, где число их достигает 20–25; 3) летующий мерзлый слой, в который "нулевые изотермы проникают не каждый год". Отдельные части этого слоя не протаивают иногда по несколько лет [Горбунов, 1967, с. 86]. Однако, применяя термин "деятельный слой" или горизонт как соби-

рательный для понятий "сезонноталый" и "сезонномерзлый" слой, он не оговаривает каких-либо изменений этих понятий по сравнению с их трактовкой Терминологической комиссией в 1956 г., А.И. Поповым, И.Я. Барановым, В.А. Кудрявцевым и др. Те же взгляды изложены им в более поздней работе [Горбунов, 1974].

Вопрос о переходном слое в последнее время неоднократно рассматривался Ю.Л. Шуром [1975, 1977, 1978], главным образом в связи с проблемой термокарста. Хотя Ю.Л. Шур и приводит без каких-либо оговорок определение этого слоя, данное В.К. Яновским в 1933 г., переходный слой он рассматривает как особую градацию мерзлых пород, как самостоятельную составную часть "системы слой сезонного оттаивания — переходный слой — многолетнемерзлые породы" [Шур, 1978, с. 136]. Как видим, его позиция в отношении места переходного слоя среди временных градаций мерзлых пород не отличается от господствующей. Оригинальность взглядов Ю.Л. Шура — в определении нижнего предела переходного слоя, а значит, и верхнего предела СТС. По его мнению, "если глубину сезонного оттаивания при изучении естественной истории развития многолетнемерзлых пород целесообразно определять как статистическую (математическое ожидание), то в качестве меры переходного слоя ... следует принимать половину амплитуды глубин сезонного оттаивания" [1977, с. 10]. При этом для определения среднего значения (математического ожидания) глубины сезонного оттаивания и мощности переходного слоя Ю.Л. Шур считает недостаточным 10-летний период, рекомендованный в инженерных целях. По его мнению, необходимый период — 15—20 последних лет.

Исходя из определения мощности СТС и переходного слоя Ю.Л. Шуром, получается, что к СТС он относит горизонт пород с обеспеченностью сезонного протаивания от 100 (ежегодное) до 50%, а к переходному слою — нижележащий горизонт с обеспеченностью протаивания менее 50% за последние 15—20 лет. Но это резко меняет представление о верхнем пределе СТС. Он увеличивается по крайней мере до 7—10 лет. В этом случае СТС приходится считать слой пород, протаивающий хотя бы в один из теплых сезонов за 7—10 лет, а переходным — слой пород, протаивающий хотя бы в один теплый сезон за 15—20 лет, но не чаще, чем один раз за 7—10 лет. Такой взгляд на переходный слой отличается от воззрений и В.К. Яновского, и М.И. Сумгина, и всех последующих исследователей. Ю.Л. Шур не делает этих выводов и ничего не говорит об изменении им временного значения нижнего предела переходного слоя или верхнего предела СТС и его обосновании. Не встретилось нам и каких-либо мнений о таком изменении данных пределов. Но эти выводы неизбежно напрашиваются из трактовки Ю.Л. Шуром мощности переходного слоя. В этом проявилась его попытка при рассмотрении особенностей термокарста учесть многолетнюю динамику глубины сезонного протаивания пород в области близко залегающих ММП. Его рассуждения справедливы применительно к проблеме сезонного промерзания и протаивания, в частности, к учету динамики глубины их проявления, оказывающей влияние на развитие термокарста. Однако они становятся несостоятельными, как только Ю.Л. Шур переносит их на проблему СТС, отождествляя динамику мощности СТС и глубины сезонного протаивания в области ММП. Не случайно он "не заметил" тех существенных изменений в значениях пределов СТС и переходного слоя, а значит, и нижнего предела ММП, которые следуют из его рассуждений, и не уделил этому никакого внимания. Но процесс формирования СТС сложнее процесса сезонного протаивания. В нем также участвует и процесс сезонного промерзания, как это следует из определения понятия СТС.

Остановимся еще на трактовке проблемы СТС и СМС и перелетков П.А. Соловьевым. Она довольно оригинальна и представляет несомненный интерес. П.А. Соловьев [1975] справедливо замечает, что в геокриологии сложилась традиция рассматривать сезонно-промерзающий и сезоннопротаивающий слои обособленно, не объединяя их более широким понятием, хотя черты, общие для них, существенней, чем различия, которыми обусловлено их разделение. Взамен предлагавшихся ранее собирательных терминов: "слой сезонного промерзания и протаивания" [Колосков, 1946], "сезонная мерзлота" [термин И.Я. Баранова, см. Общее мерзлотоведение, 1940, с. 10], "деятельный слой" [Сумгин, 1937; Попов, 1967; и др.], "сезонномерзлые породы" [Пчелинцев, 1964; Втюрина, 1978; Мерзлотоведение, 1981; и др.], "слой сезонного изменения состояния почвы и горных пород" [Хомичевская, 1955], "зона ежегодных превращений пород из немерзлого состояния в мерзлое и обратно" [Сиденко, 1955] П.А. Соловьев предложил термин "сезонномерзлая оболочка криолитозоны". Он определил ее как "совокуп-

ность сезоннопромерзающих и сезоннопротаивающих слоев" [1975, с. 86; 1978, с. 3]. Не останавливаясь на критике принятых большинством исследователей определений СМС и СТС, в частности, верхнего предела этих слоев, П.А. Соловьев отмечает как "излишнее уточнение" нередко встречающиеся указания об ежегодности их промерзания и протаивания. В пределах сезонномерзлой оболочки он выделяет "поверхностную сезонномерзлую толщу" и "обращенную". Первую он определяет как "совокупность слоев горных пород, которые промерзают (приобретают мерзлое или морозное состояние) или протаивают (переходят в талое состояние) в результате распространения в земные слои одной сезонной (годовой) температурной волны с поверхности Земли. Верхняя часть этих слоев промерзает и протаивает ежегодно, ниже — хотя бы через год. Еще ниже следуют слои, промерзающие или протаивающие хотя бы раз за несколько лет. Нижней границей поверхностной сезонномерзлой толщи целесообразно принять подошву слоя, который промерзает или протаивает раз за 50 лет" [Соловьев, 1975, с. 87].

Казалось бы, такое определение поверхностной сезонномерзлой толщи дает право говорить, что это дальнейшее развитие взглядов М.И. Сумгина по этой проблеме, хотя и без ссылок на их автора, и более поздних представлений А.П. Горбунова [1967], относящихся к деятельному слою в области ММП. Изменен лишь верхний предел этих пород — 50 лет вместо 15—30 лет, по М.И. Сумгину, и учтена временная динамика глубины сезонного промерзания и протаивания не только применительно к деятельному слою, но и к сезонной мерзлоте. Однако детальное ознакомление со взглядами П.А. Соловьева показывает, что он вовсе не считает, что данное им определение поверхностной сезонномерзлой толщи столь существенно меняет сложившиеся представления об СМС и СТС. По существу, он механически объединил их под общим названием "сезонномерзлая оболочка криолитозоны", не показав в ее определении основной специфической черты, общей для СТС и СМС и дающей право на этот собирательный термин. Он также рассматривает сезоннопротаивающий слой в области ММП и сезоннопромерзающий вне ее, перелетки как слои сезонномерзлой толщи, остающиеся мерзлыми в течение года и более, дополнительно выделяет "таликовые перелетки" [Соловьев, 1973, 1975], называя так горизонты талых пород, отделяющие промерзший за данную зиму слой от ММП.

Подход П.А. Соловьева к оценке "мерзлых и таликовых перелетков" двойственный: с одной стороны, он говорит, что это часть сезонномерзлой толщи (мерзлые перелетки) и СТС (таликовые перелетки), с другой — показывает, что это нечто особое, отличное от СМС и СТС. Последнее вытекает из следующего его утверждения: "В этой полосе из года в год в одном и том же месте вследствие возникновения и исчезновения перелетков сезоннопромерзающие слои могут превращаться в сезоннопротаивающие и наоборот; причем в других отношениях их качества не изменяются" [Соловьев, 1975, с. 95]. Если перелеток — составная часть сезоннопромерзающего слоя, то как его образование может обусловить переход СМС в СТС, а исчезновение — обратный переход СТС в СМС? Исходя из принятого определения понятий СТС и СМС, такое утверждение справедливо в том случае, если мерзлый перелеток считать частью не сезонномерзлой толщи, а ММП. Новых же определений понятий СМС и СТС им не предложено. То же следует из его утверждения, что "сезонномерзлая толща сохраняет талое состояние в теплый период года и мерзлое в холодный" [там же, с. 95]. При таком определении этой толщи в ее составе нет места ни мерзлым, ни таликовым перелеткам. В таблице "Характеристика широтной зональности пояса распространения сезонномерзлой толщи" [Соловьев, 1973, 1975] оба вида перелетков учитываются не как часть СТС и СМС, а как особое явление, которое может образоваться, а может и не возникнуть при наличии СМС и СТС. Наиболее четко это прослеживается на рисунке, отображающем представления П.А. Соловьева [1975, с. 92] о строении сезонномерзлой оболочки криолитозоны, на котором таликовые и мерзлые перелетки показаны только как специфическая особенность "слоев переменного состояния (в одни годы — сезоннопромерзающие, в другие — сезоннопротаивающие, переходные типы, по В.А. Кудрявцеву)", выделенных наряду с СТС и СМС.

П.А. Соловьев также отождествляет проблему сезонного промерзания и протаивания пород с проблемой СТС и СМС, считая одним из доказательств общности СТС и СМС описание сезонного промерзания и протаивания одними и теми же математическими уравнениями. Но, какими бы уравнениями не описывались процессы, это не может

служить доказательством единства, общности той среды, в которой они проявляются. Он указывает на отсутствие принципиальных противоречий между предложенной им "системой зональных расчленений пояса развития сезонномерзлой оболочки" и системой, вытекающей из классификации типов сезонного промерзания и протаивания, разработанной В.А. Кудрявцевым. Но В.А. Кудрявцев, как известно, никогда не считал нижний предел ММП равным 50 годам. Становится ясным, что, предлагая термин "сезонномерзлая оболочка криолитозоны" и давая его определение, П.А. Соловьев фактически пытался лишь дать собирательный термин для СТС и СМС в их принятом толковании. Возражение его против уточнения "ежегодно промерзающие и протаивающие" в некоторых определениях СТС и СМС основываются не на ином, чем принято, определении понятия "мощность" СТС и СМС. Он также проводит полную аналогию между мощностью СТС и глубиной сезонного протаивания в области ММП и между мощностью СМС и глубиной сезонного промерзания вне ее [Соловьев, 1966, 1978]. Но, поскольку почти каждый год глубины протаивания и промерзания разные, оговорка о ежегодности этих процессов при определении СТС и СМС "создает формальные трудности при описании слоев, промерзающих в холодный и протаивающих в теплый период года (но не ежегодно) ..." [Соловьев, 1975, с. 87].

Иными словами, к СТС он, как и большинство исследователей в настоящее время, относит протаивающий за теплый период горизонт пород в любой год, но в инженерных целях и при картографировании считает необходимым учитывать не случайную глубину сезонного протаивания, а максимальную за 50 лет. То же касается и СМС, мощность которого он считает аналогом глубины промерзания в любой год. Не случайно в определении поверхностной сезонномерзлой толщи им указывается, что это совокупность слоев горных пород, которые не промерзают и протаивают, а промерзают или протаивают хотя бы раз за 50 лет. Следовательно, это не было попыткой вернуться к воззрениям М.И. Сумгина и как-то развить, уточнить их, сознательно изменив верхний предел СТС и СМС. Недаром такого важнейшего вывода, вытекающего из определения поверхностной сезонномерзлой толщи, не сделал сам П.А. Соловьев. Наоборот, он подчеркнул, что его представления об СТС и СМС не отличаются от воззрений В.А. Кудрявцева.

Наряду с поверхностной сезонномерзлой толщей П.А. Соловьев [1975] выделяет "обращенную", также разделяя ее на сезоннопротаивающий и сезоннопромерзающий слои. "Обращенный сезоннопротаивающий слой образуют породы, перекрытые многолетнемерзлыми слоями, но (при залегании на небольшой глубине) промерзающие преимущественно вследствие распространения сверху вниз температурной волны зимнего похолодания с поверхности Земли" [там же, с. 87]. Однако давно известно, что таким путем формируется любая эпигенетическая толща ММП, пока ее мощность не достигнет термодинамического равновесия с существующими природными условиями. В данном случае речь может идти о роли сезонного промерзания в формировании ММП, но не об обращенной сезонномерзлой толще. Это лишний раз убеждает в том, что процесс сезонного промерзания и процесс формирования сезоннокриогенных пород не одно и то же.

Обращенным сезоннопромерзающим слоем он называет нижний горизонт СМС, протаивающий снизу, со стороны подстилающих талых пород (возвратное протаивание), перекрытый маломощными горизонтами еще непротаявших пород СМС. Эти мерзлые горизонты он называет "позжепротаивающими остатками" этого слоя или "кратковременно существующими мерзлыми перелетками". Ранее И.А. Некрасов [1963, с. 74] предложил называть этот горизонт СМС "нижним слоем летнего протаивания". Но это не какой-то самостоятельный слой сезонного протаивания, а лишь один из горизонтов обычного СМС, и выделение его в особый ("обращенный", "нижний") СМС, на наш взгляд, вносит лишь путаницу. В этом плане более интересны данные о наличии ниже границы ММП "слоя ежегодного оттаивания" [Мелентьев и др., 1966; Алексеев, Артеменко, 1969], образование которого связывается с сезонными колебаниями уровня подмерзлотных вод. Это специфический слой, принципиально отличный от обычного СТС как по мощности — от 2 до 10 м [Алексеев, Артеменко, 1969], так и по образованию. Возникновение его не связано непосредственно с летним теплоприходом и зимним теплорасходом. Иной должна быть и ритмичность его образования, поскольку изменение уровня подмерзлотных вод связано не только со сменой сезонов года, но и с количеством атмосферных осадков. Вопрос об этом псевдоСТС еще требует изучения и в данной работе не рассматривается.

Таковы в настоящее время представления по основным теоретическим положениям проблемы пород, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию. Они, как видим, довольно существенно отличаются от взглядов М.И. Сумгина и почти единодушно признаются мерзлотоведами как более правильные. Но современная господствующая их интерпретация никак не может рассматриваться как дальнейшее развитие последних суждений М.И. Сумгина по данной проблеме. Это, скорее, возврат к его более ранним воззрениям, обоснованно измененным им к 1940 г.

Господствующие теоретические представления об СТС и СМС нашли отражение в методических руководствах по их изучению [Полевые геокриологические. . . , 1961; Методика. . . , 1970; Втюрина, Чернядьев, 1971; Методика мерзлотной съемки, 1979; и др.], нормативных документах [СНиП—II—15—74; СНиП—II—18—76 и др.] и в картографическом отображении их особенностей. Изучаются преимущественно количественные показатели СТС и СМС: их распространение, глубина сезонного промерзания и протаивания, отождествляемые с их мощностью, влажностью—льдистостью, температурой и влияние на них разных природных факторов и деятельности человека. При этом исследуются в основном пространственные закономерности изменения этих характеристик. Временная динамика до сих пор изучалась лишь применительно к одному их показателю — мощности или, точнее, глубине сезонного промерзания и протаивания [Акимов, Братцев, 1957; Швецов, Запорожцева, 1963; Федотова, 1965; Гаврилова, 1966; Втюрина, 1976; Бауло, Втюрина, 1978; и др.]. Однако выводы о пространственных закономерностях изменения количественных показателей СТС и СМС, в том числе и их мощности, за редким исключением [Соловьев, 1966, 1978; Федотова, 1965], делаются без учета их временной динамики, на основе сравнительного анализа разновременных данных без их необходимой обработки.

Из качественных особенностей СТС и СМС изучается лишь их криогенное строение. Однако все выводы о его закономерностях неполны, поскольку мощность СТС и СМС до сих пор ограничивалась глубиной сезонного протаивания (СТС) и промерзания (СМС) в любой год, без учета их остаточного мерзлого горизонта. Нет сведений об основных качественных показателях этих пород — о генетических особенностях их как специфического литокриогенного образования.

Оригинальная классификация и методика исследования СТС и СМС разработаны В.А. Кудрявцевым [Основы геокриологии, 1959; Достовалов, Кудрявцев, 1967; Общее мерзлотоведение, 1978; Мерзлотоведение, 1981] на основе ранее высказанных воззрений П.И. Колоскова [1946]. Основное внимание уделяется исследованию таких показателей, как амплитуда температуры на поверхности пород, их средняя годовая температура, грансостав и влажность СТС в области ММП и СМС вне ее. Для каждого показателя оговорены жесткие пределы, ограничивающие разные типы СТС или сезонного протаивания в области ММП и СМС или сезонного промерзания вне ее. Но реальная временная динамика каждого из этих показателей обуславливает частую, нередко ежегодную смену таких типов СТС и СМС на одном и том же участке. Это делает малоинформативным их картографическое отображение и нерентабельным большой объем работ по их выделению.

Картографическая интерпретация данных об СТС и СМС отразила всю неполноту теоретических представлений по проблеме СКП и методике их изучения. На мелко-масштабных картах, как общей геокриологической на территорию СССР, составленной И.Я. Барановым в 1956 г. и уточненной позднее, так и отдельных регионов [Шполянская, 1981; Быкова, 1979; и др.], отражается в основном мощность СМС вне области ММП и мощность СТС в ее пределах без учета временной динамики этого показателя. Масса аналогичных карт по более мелким районам и большего масштаба хранится в различных организациях. То же касается серии картограмм глубин сезонного промерзания и протаивания пород, составленных В.П. Чернядьевым для Западной Сибири и СССР в целом и Г.М. Фельдманом (1983) для северной части Западной Сибири. Хотя нередко они называются картами-схемами мощности СТС и СМС, это, по существу, картограммы средних многолетних расчетных глубин сезонного промерзания и протаивания. Имеется серия карт-схем, построенных по методике В.А. Кудрявцева. На них отображаются типы СТС и СМС, выделяемые по амплитуде температур на поверхности пород, их средней годовой температуре, грансоставу и влажности [Полуостров Ямал. . . , 1975; и др.]. Считается, что такие карты дают возможность прогнозировать изменения глубины сезонного промерзания и протаивания при изменении природных

условий. В 1967 г. была составлена карта-схема криогенного строения СТС на территории СССР [Втюрина, 1974б], позднее более детальная — для Средней Сибири [Втюрина, 1971]. На картах небольших районов иногда предпринимаются попытки показать также скорость промерзания или протаивания, льдистость пород СТС и СМС. Но чаще и на них отражается преимущественно мощность СТС и СМС в год наблюдений или за короткий (2–5 лет) период.

Таковы вкратце существующие к настоящему времени основные принципиальные воззрения разных исследователей по проблеме СТС–СМС. Подведем краткий итог, чтобы стало яснее состояние ее изученности на сегодняшний день.

1. Многолетняя дискуссия по проблеме изучения пород, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию, со времени М.И. Сумгина по настоящее время касается в основном двух вопросов: а) определения основных понятий и их терминов и б) значения верхнего предела этих пород, или нижнего предела ММП. Ни по одному из них пока нет единого мнения.

2. Наиболее широко применяемые в современной геокриологии термины “сезонно-талый” и “сезонно-мерзлый” слои пород, по существу, синонимы, а их определения учитывают косвенные признаки и не отражают основных особенностей этих слоев.

3. Дискуссия по вопросу о собирательном термине для СТС и СМС и его определении продолжается до сих пор. Пока ни один из предложенных терминов не принят, т.е. не признан отражающим главную особенность этих пород, а некоторые также из-за их многозначности, недопустимой для терминов.

4. Попытки установить единый нижний критерий для ММП или верхний для перелетков, а также верхний предел для СТС и СМС без необходимого научного обоснования не привели к решению этого вопроса и, по существу, являются шагом назад по сравнению с воззрениями М.И. Сумгина.

5. В отличие от М.И. Сумгина, в настоящее время не только СМС (сезонная мерзлота), но и СТС (“деятельный слой в случае сливающейся мерзлоты”) рассматриваются как чисто сезонные литокриогенные образования.

6. Ограничение продолжительности существования в мерзлом состоянии как СМС, так и СТС одним годом, вопреки мнению М.И. Сумгина, привело к сужению проблемы, отождествлению ее с проблемой самих процессов сезонного промерзания и протаивания пород, что неправомерно.

7. Вследствие этого основное внимание исследователей направлено на изучение мощности СТС, считающейся аналогом глубины сезонного протаивания в области ММП, и мощности СМС, рассматриваемой как аналог глубины сезонного промерзания вне области ММП. Никем не учитывается оговоренная в определении СТС и СМС ежегодность их промерзания и протаивания.

8. Перелетки стали рассматриваться как самостоятельная форма мерзлых пород, ограниченная жесткими временными пределами, промежуточная между СМС и ММП, свойственная только определенным районам без ММП или при их глубоком залегании. Хотя некоторые исследователи считают их частью СМС, однако принятый ими верхний предел этого слоя (менее года) исключает возможность отнесения перелетков к СМС.

9. О переходном слое в области близко залегающих ММП упоминается сравнительно редко и классификационная принадлежность его окончательно еще не определена. Его считают или аналогом перелетка, или горизонтом ММП.

10. Предложенные к настоящему времени классификации пород, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию, построены с учетом частных, в основном второстепенных, нередко косвенных признаков. Деление по качественным признакам ограничивается их делением на СТС и СМС по косвенному показателю, а СТС — по криогенному строению.

До сих пор нет генетической классификации этих пород, отражающей основные особенности их формирования как литокриогенного образования, и морфогенетической классификации, включающей генетические особенности и дифференциацию каждой качественной градации по количественным признакам.

11. Картографирование и районирование территории по особенностям СТС и СМС отразили все недостатки как теоретической разработки проблемы, так и их классификаций. Необоснованность принятого верхнего предела СТС и СМС, отождествление

проблемы СТС—СМС с проблемой сезонного промерзания и протаивания позволяют сделать вывод, что большинство имеющихся карт-схем является картами-схемами глубины сезонного промерзания или протаивания пород. Корректность их определяется корректностью используемых при их построении данных.

О ПОНЯТИИ "СЕЗОННОКРИОГЕННЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ"

Сравнение представлений М.И. Сумгина и современной интерпретации проблемы СТС и СМС показывает, что проблема СТС и СМС не является дальнейшим развитием его взглядов. М.И. Сумгин ставил проблему значительно шире, не отождествлял ее с проблемой сезонного промерзания и протаивания пород, особенно в отношении деятельного слоя. В разгаре дискуссии как-то упустили из виду предупреждение М.И. Сумгина о невозможности волевого назначения количественных пределов ММП и перелетков, о том, что перелетки и переходный слой — составная часть "деятельного слоя", а не самостоятельная градация мерзлых пород, и следовательно "деятельный слой" — не сезонное, а многолетнее литокриогенное образование. Не обратили внимания на явное несоответствие между критерием, положенным в основу выделения основных видов мерзлых пород, и фактической продолжительностью существования каждого из них в мерзлом состоянии. Если "деятельный слой в случае сливающихся мерзлоты", включающий, по М.И. Сумгину, и переходный слой, — образование многолетнее, поскольку нижний переходный его горизонт может быть мерзлым непрерывно до 15—30 лет, то как по продолжительности существования в мерзлом состоянии отличить его от вечной мерзлоты или ММП? Очевидно, что возраст мерзлоты (ММП) также начинается не с 15—30 лет пребывания в мерзлом состоянии, а с одного года и даже с одного холодного сезона, если этот промерзший горизонт уже не протаивает при многолетних колебаниях глубины сезонного промерзания и протаивания.

Следовательно, продолжительность существования в мерзлом состоянии ошибочно принята критерием деления мерзлых пород на временные, или хронологические, виды. Нет сомнений, что именно необоснованность, неправильность этого критерия — основная причина того, что с момента становления геокриологии как науки и по настоящее время сохраняются разногласия в определении основных градаций мерзлых пород. Без принципиального его изменения никакие уточнения градаций для кратковременных и многолетнемерзлых пород, сезонноталого и сезонномерзлого слоев, перелетков и переходного слоя в их современном понимании не могли обусловить уточнения этих понятий. Отсюда не удивительно, что попытки втиснуть СТС и СМС в прокрустовы ложе жестких временных пределов не привели к дальнейшему развитию взглядов М.И. Сумгина. Это заставляет вновь и вновь обращаться к классическим работам М.И. Сумгина, который, несмотря на неполную доработанность представлений о сезонной мерзлоте и двух видах деятельного слоя, по существу, заложил основы именно проблемы сезоннокриогенных пород, а не проблемы СТС—СМС в ее современном понимании.

Не продолжительность существования в мерзлом состоянии позволяет четко разделить мерзлые горные породы на три основные градации, а только один обоснованный критерий — ритмичность попеременного проявления процессов промерзания и протаивания пород, или особенности циклов этих процессов в многолетнем периоде.

Под циклом промерзания—протаивания пород мы понимаем совокупность этих процессов, последовательно однократно сменяющихся за определенный отрезок времени. Если смена промерзания протаиванием происходит за одни сутки, это суточный цикл промерзания—протаивания. В течение суток и года может наблюдаться как один, так и несколько суточных циклов промерзания—протаивания. Если смена промерзания протаиванием происходит реже, чем один раз в сутки, но не реже одного раза в год, это сезонный цикл промерзания—протаивания. Он также может проявляться один или несколько раз как за год, так и за многолетний период (30 лет). Если смена промерзания протаиванием происходит реже одного раза в год, это многолетний цикл промерзания—протаивания.

Этот критерий и названные его градации позволяют: 1) строго обоснованно разграничить три класса мерзлых пород Земли и показать несостоятельность выделения каких-либо промежуточных, переходных их градаций или увеличения числа основных

классов; 2) однозначно определить принадлежность СТС, СМС, переходного слоя и перелетков к одному классу литокриогенных образований вследствие единого одинакового критерия их выделения; 3) предложить более обоснованные собирательные названия каждого из трех классов мерзлых пород Земли, учитывающие их основные особенности, главные специфические черты, и, наконец, 4) разработать теоретические основы новой в геокриологии проблемы сезоннокриогенных пород, отличающейся и от проблемы СТС—СМС в ее современном понимании, и от проблемы процессов сезонного промерзания и протаивания пород. Суть ее в следующем.

В пределах литокриосферы Земли по характеру циклов промерзания—протаивания четко выделяются три горизонта: 1) самый верхний, которому свойствен суточный цикл промерзания—протаивания, проявляющийся хотя бы раз за год, 2) горизонт, которому свойствен сезонный цикл промерзания—протаивания, проявляющийся хотя бы раз за многолетний период, и 3) горизонт, которому свойствен многолетний цикл промерзания—протаивания, суточный и сезонный циклы в нем не проявляются. Каждый из них может быть единственным горизонтом литокриосферы и встречаться в сочетании с двумя другими или с одним из них.

СТС, СМС, переходный слой и перелетки образуют единый горизонт литокриосферы, характеризующийся сезонным циклом промерзания—протаивания. А поэтому их правомерно рассматривать лишь как части одного и того же специфического горизонта литокриосферы, независимо от температуры подстилающих пород.

Каждому из названных трех горизонтов литокриосферы в одинаковой мере свойственно и мерзлое и талое состояние или две фазы развития: 1) аградационная (мерзлое состояние) и 2) деградационная (талое состояние). Ранее нами [Втюрин, Втюрина, 1980, 1981а] указывалось, что не только процессы, вызванные фазовым переходом воды и водяного пара в лед, и сам этот процесс, но и обратный фазовый переход и вызванные им процессы являются криогенными. Отсюда, в какой бы фазе развития в данный момент ни находился каждый из названных трех горизонтов литокриосферы, породы, его слагающие, не перестают быть криогенными. Следовательно, собирательным термином для горных пород, в которых проявляются циклы промерзания—протаивания или смена аградационной и деградационной фаз развития независимо от их продолжительности, является не мерзлота и не мерзлые горные породы, а криогенные горные породы. Термины “мерзлота” и “мерзлые породы” при любых временных приставках (сезонно-, кратковременно-, многолетнемерзлые) применимы лишь как названия аградационной фазы развития этих пород.

Итак, криогенными мы называем горные породы, прошедшие как одну аградационную фазу (мерзлые), так и обе — аградационную и деградационную (талые) фазы развития, или литокриогенеза.

Как известно, до сих пор термин “криогенные породы”, или “криогенная толща”, применялся в совершенно ином значении, по существу, был синонимом термина “многолетнемерзлые породы” [Попов, 1969; 1970; Фотиев, 1972, 1978; Фотиев и др., 1974, и др.]. С.М. Фотиев применяет его как собирательный для мерзлых и морозных пород, что едва ли правомерно. Морозные породы — это не криогенные, а лишь холодные или охлажденные породы, поскольку в них нет воды или она слишком минерализована, чтобы переходить в лед при естественном охлаждении. Следовательно, им не свойственны ни фазовые переходы вода (водяной пар) \rightleftharpoons лед, ни другие литокриогенные процессы, вызванные данными фазовыми переходами. В таких породах есть только потенциальная возможность развития криогенных процессов, которая далеко не всегда реализуется. Иными словами, это лишь потенциально криогенные породы, в них соблюдается только одно из двух условий, необходимых для развития криогенных пород, — охлаждение до отрицательной температуры, а этого недостаточно. Обычно их называют морозными. Н.И. Толстихин [Общее мерзлотоведение, 1974] разделил их на сухоморозные и мокроморозные.

Особенности ритмики, частоты смены аградационной и деградационной фаз позволяют разделить криогенные породы на: 1) многолетнекриогенные (МКП) без проявления сезонных циклов промерзания—протаивания или с их проявлением реже 1 раза за 30 лет, объединяющие многолетнемерзлые (ММП) и многолетнеталые (МТП) породы; 2) сезоннокриогенные (СКП) с частотой смены аградационной и деградационной фаз не реже одного раза хотя бы в один год за многолетний репрезентативный период, но реже одного раза в сутки, объединяющие сезонномерзлые (СМП) и сезонноталые



Рис. 1. Классификация криогенных горных пород

(СТП) породы; 3) кратковременнокриогенные породы (ККП) с частотой смены аградационной и деградационной фаз не реже одного раза хотя бы в одни сутки за год, объединяющие кратковременномерзлые (КМП) и кратковременноталые (КТП) породы (рис. 1). Исходя из предложенного выше определения понятия "цикл промерзания—протаивания", можно сказать короче: многолетнекриогенные породы — это породы с проявлением многолетнего цикла промерзания—протаивания; сезоннокриогенные — породы с проявлением сезонного цикла промерзания—протаивания; кратковременнокриогенные — породы с суточным циклом промерзания—протаивания.

Таким образом, в предложенном нами понимании термин "криогенные породы", во-первых, передает основную сущность, специфику этих пород, во-вторых, не исключает ни одной из фаз литокриогенеза, приводящих к их формированию, что особенно важно для сезоннокриогенных и кратковременнокриогенных пород. Временная приставка к термину "криогенные породы" позволяет четко конкретизировать класс криогенных пород. Но она указывает не время существования этих пород в мерзлом состоянии, а частоту смены их аградационной и деградационной фаз, или особенности цикла промерзания—протаивания. По времени существования и МКП, и СКП и ККП — многолетние литокриогенные образования. Ограничено время существования лишь каждой из их фаз: аградационной и деградационной. Как указывалось, до сих пор критерием разделения мерзлых пород на основные и промежуточные виды считалась продолжительность их существования в мерзлом состоянии, т.е. длительность аградационной фазы криогенных пород. Но, хотя время пребывания их в каждой из двух фаз развития ограничено, учет его не позволяет четко разделить криогенные породы на хронологические виды или классы. Так, мерзлые породы в первый же сезон своего образования могут быть уже многолетнемерзлыми, если есть уверенность, что в них за многолетний период уже не проявится сезонный цикл промерзания—протаивания. В то же время нижний горизонт СКП может оставаться мерзлым в течение 20—30 лет и быть частью СКП, а не МКП, поскольку за этот период в нем хотя бы раз проявится сезонный цикл промерзания—протаивания. То же касается талых пород: они могут быть изначально, с момента протаивания многолетнеталыми, если в них уже не проявится сезонный цикл промерзания—протаивания за многолетний период. В то же время нижний горизонт СКП может находиться в талом состоянии 20—30 лет и все же являться составной частью СКП, поскольку за этот период в нем хотя бы раз проявится сезонный цикл промерзания—протаивания.

Как видим, проблема сезоннокриогенных пород иная, чем проблема СТС—СМС и проблема сезонного промерзания и протаивания горных пород. Проблема сезонного промерзания и протаивания включает изучение особенностей проявления этих процессов в горных породах, причин, их вызывающих, временной и пространственной динамики их основных показателей, разработку методов и средств их регулирования и прогноза изменения в естественных условиях и при их нарушениях. Правда, до сих пор изучается в основном глубина сезонного протаивания и глубина сезонного промерзания и разрабатываются методы их прогноза. Сама среда, в которой эти процессы протекают, учитывается лишь постольку, поскольку отдельные ее составляющие влияют на ход промерзания и протаивания.

Проблема СКП — это проблема изучения того литокриогенного образования, которое возникает в результате проявления сезонного цикла промерзания—протаивания

в горных породах. Она включает изучение только тех особенностей этих процессов, которые дают возможность правильно понять генетические особенности СКП как литокриогенного образования и объяснить их природное многообразие. Следовательно, проблема сезонного промерзания и протаивания — лишь часть проблемы СКП.

Различие проблем СКП и СТС—СМС в современном толковании последней не столько в объекте исследований (и в той, и в другой — это горные породы), сколько в подходе к его изучению. Проблема СКП включает изучение всего горизонта горных пород, в котором за многолетний период проявляется сезонный цикл промерзания—протаивания, причем в обеих фазах развития, как в области близко залегающих ММП, так и вне ее. В проблеме СТС—СМС объектами фактического изучения являются: а) в области близко залегающих ММП только слой пород, протаивающий за любое лето, т.е. без учета остаточного мерзлого горизонта СКП; б) в области без ММП и при их глубоком залегании — только слой пород, промерзающий за любую зиму, т.е. без учета остаточного талого и мерзлого (перелетки) горизонтов. Иными словами, в современной постановке проблема СТС—СМС включает изучение лишь части СКП, причем в области ММП — изучение деградационной фазы СКП, а вне ее и при глубоком залегании ММП — их аградационной фазы.

Кроме того, проблема СТС—СМС, будучи отождествлена с проблемой сезонного промерзания и протаивания пород, включает изучение в основном количественных показателей СТС и СМС: характера распространения, влажности—льдистости, температуры, мощности, считающейся вопреки определению СТС и СМС аналогом глубины сезонного протаивания (мощность СТС) или глубины сезонного промерзания (мощность СМС) в любой год. Из качественных особенностей исследуется лишь криогенное строение СТС и СМС, причем систематика его предложена лишь для СТС (Втюрина; 1969а; 1974б).

Проблема СКП включает прежде всего изучение генезиса СКП как литокриогенного образования, их генетических особенностей и многообразия, систематику СКП по качественным признакам, а не только по количественным. Следовательно, проблема СКП много шире проблемы СТС—СМС и не является результатом простого механического объединения существующих представлений об СТС и СМС под одним собирательным названием. Современные понятия “сезонноталый” и “сезонномерзлый слой” — не эквивалентны даже понятиям “сезонноталые породы (СТП)” и “сезонномерзлые породы (СМП)”, применяемым в данной работе. Как известно, в настоящее время слой горных пород называется сезонноталым (СТС) или сезонномерзлым (СМС) независимо от их фактического состояния (талое или мерзлое). Так, в области ММП сезонноталым называют верхний слой пород не только в теплый сезон, когда породы действительно талые, но и в холодный сезон, когда эти “сезонноталые породы” в действительности мерзлые. Это вынуждает применять такие странные, нелогичные названия, как, например, “протаивание сезонноталого слоя”, “промерзание сезоннопромерзающего слоя” и т.д., на что не раз обращалось внимание [Попов, 1967; Втюрина, 1974б]. Однако, если, говоря о сезонноталых и сезонномерзлых породах, принимать во внимание тепловое состояние самих этих пород, а не подстилающих их толщ, как делается до сих пор, т.е. называть их мерзлыми только тогда, когда они действительно мерзлые, а талыми, когда они действительно талые, эти термины приобретают необходимую строгую определенность и логичность.

Итак, сезонномерзлой (СМП) следует называть горную породу, мерзлую в холодный период как в области ММП, так и вне ее, а сезонноталой (СТП) — породу, талую в теплый период года, также в области ММП и вне ее, вследствие проявления в горных породах сезонного цикла промерзания—протаивания. СМП — это аградационная, а СТП — деградационная фаза развития СКП в любом районе независимо от наличия или отсутствия близко залегающих ММП. Мы специально заменили “слой” на “породу”. С одной стороны, это, пожалуй, более правильно с позиций литогенеза, в частности литокриогенеза, из-за специфики формирования этих пород. С другой, это позволяет избежать путаницы с иными по смыслу, ставшими привычными понятиями — СТС и СМС.

О ДЛИТЕЛЬНОСТИ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОГО ПЕРИОДА ИЗУЧЕНИЯ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД

С изменением сущности критерия, положенного в основу выделения основных градаций мерзлых пород, стало необходимым знание длительности многолетнего периода, в течение которого следует изучать особенности сезонного промерзания и протаивания, чтобы получить правильное представление об особенностях СКП. Одним из первых ее указал М.И. Сумгин — 15—30 лет [Общее мерзлотоведение, 1940]. Е.Д. Федотова [1965] проанализировала огромный материал по глубине проникновения нулевой изотермы в горные породы в Среднем Поволжье и пришла к выводу, что только 30-летние ряды дают вполне устойчивую среднюю величину. Это позволяет сделать вывод о представительности 30-летнего периода при ее изучении. По П.А. Соловьеву, репрезентативным следует считать период, равный 50 годам. Он пишет: "Это удобно, например, в практическом отношении, поскольку при проектировании большинства инженерных сооружений обычного класса, определяя расчетную глубину сезонного протаивания или промерзания, достаточно учитывать максимальное значение этой величины за указанный срок. С другой стороны, период, более или менее обеспеченный данными фактических наблюдений, также не превышает этот срок" [1978, с. 3]. Это, конечно, недостаточное обоснование длительности периода многолетних колебаний глубины сезонного промерзания и протаивания, который необходим при изучении СКП. К сожалению, ряды наблюдений за глубиной сезонного промерзания и протаивания в основном 20—30 лет и меньше, что и осложняет определение фактической длительности этого периода.

В СНИП-II-15-74 и СНИП-II-18-76 без какого-либо обоснования указывается 10-летняя длительность периода наблюдений за ходом сезонного промерзания и протаивания пород, необходимая для практических выводов об их глубине. Однако анализ имеющихся данных показал несостоятельность такого утверждения.

К.Л. Шур [1978], касаясь вопроса о мощности СТС и переходного слоя, указывает на необходимость учета изменений глубины сезонного протаивания пород за последние 15—20 лет.

Таким образом, в геокриологической литературе длительность репрезентативного периода изучения сезонного промерзания и протаивания пород оценивается по-разному: от 10 до 30 и даже 50 лет.

Поскольку изменения глубины сезонного промерзания и протаивания пород в значительной степени зависят от погодных условий, представляют интерес рекомендации климатологов по вопросу о репрезентативном периоде их изучения, в частности о периоде осреднения температуры воздуха. Согласно О.А. Дроздову и Е.С. Рубинштейн [Средняя многолетняя температура воздуха..., 1970], оптимальный период осреднения 50—70 лет. По К. Бруксу [там же], в зарубежной литературе за стандарт для данного элемента погоды чаще всего принимается 30-летний период. Такой же период рекомендован Всемирной метеорологической организацией для расчета нормы температуры воздуха [Средняя многолетняя температура воздуха..., 1970]. Расчеты Л.Б. Клебанер [1969] показали, что устойчивые многолетние средние месячные величины температуры воздуха с точностью до $\pm 0,5^\circ\text{C}$ в большинстве районов северного полушария получаются из 40-летних наблюдений, а южнее 40-й параллели даже 30-летних. Но в северных районах, а также на Среднесибирском плоскогорье для этого недостаточно даже 50—60-летних рядов. По Л.Б. Клебанер, для получения норм температуры воздуха здесь требуется период в 80—100 лет.

Гляциологи при изучении ледников и снежного покрова достаточно представительным считают период в 20 лет.

Приведенные данные свидетельствуют, что вопрос о длительности репрезентативного периода исследований не только сезонного промерзания и протаивания пород, но и более изученных к настоящему времени элементов погоды пока нельзя считать окончательно решенным. Для этого необходимы материалы наблюдений за глубиной сезонного промерзания и протаивания пород примерно за 80—100 лет. Но такими рядами данных не располагает ни одна АГМС и ГМС СССР. Наблюдения за ходом этих процессов по мерзлотомерам Данилина начаты лишь с 1946 г. Более длинные ряды данных имеются о глубине проникновения нулевой температуры в горные породы, хотя, как показала Е.Д. Федотова [1965], она далеко не всегда совпадает с глубиной промерзания и протаивания пород. Длительность представительного периода их изучения должна быть если не одинаковой, то близкой. Видимо, не будет большой ошибкой, если мы примем

его равным также 30 годам. Таким образом, СКП — это горные породы, слагающие верхний горизонт литосферы, в котором хотя бы раз за 30 лет проявляется сезонный цикл промерзания—протаивания.

Познать основные особенности формирования и развития СКП, разработать их систематику по качественным и количественным показателям можно лишь путем изучения и сопряженного анализа их особенностей в аградационную и деградационную фазу развития. Каждая из них достаточно сложна и имеет свои особенности. В совокупности они определяют специфику СКП, их сложность и природное многообразие.

ГЛАВА II

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АГРАДАЦИОННОЙ ФАЗЫ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД

Образование сезонномерзлых пород (СМП) обусловлено целым комплексом взаимосвязанных литокриогенных процессов (ЛКП). Главная роль среди них принадлежит сезонному промерзанию, особенности проявления которого определяют специфику всех связанных с ним процессов, а в конечном итоге — основные закономерности формирования и развития СМП. Остановимся на тех особенностях сезонного промерзания, без знания которых нельзя понять закономерности процесса формирования СМП, его отличия от процесса сезонного промерзания, а следовательно, и специфику самих СМП.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Сезонное промерзание пород наблюдается практически в любой природной зоне, от полюсов до экватора, а повсеместно лишь в полярных областях континентов и в значительной части их умеренных зон. В тропиках и субтропиках оно проявляется только в высокогорьях. Зональность и поясность, которым подчиняется этот ЛКП, в совокупности обуславливают весьма существенную его сложность и пространственную неоднородность (рис. 2). Разнообразие и непостоянство во времени природных условий служит причиной варьирования как качественных, так и количественных его показателей при большей изменчивости последних.

Имеющиеся данные, а также наблюдения автора за ходом сезонного промерзания пород показывают, что в природе проявляются две модификации процесса сезонного промерзания. Каждая из них вызывается своими причинами и имеет свои особенности и количественные показатели.

Сезонное промерзание, направленное от дневной поверхности в глубь пород, нередко называют сезонным промерзанием сверху. Оно доминирует в природе, свойственно преобладающей части области СМП. Необходимыми и достаточными для него условиями являются: 1) охлаждение пород со стороны дневной поверхности до температуры замерзания воды в них и 2) наличие воды в породах, способной кристаллизоваться при природном охлаждении, т.е. те же условия, которые необходимы и достаточны для проявления процесса промерзания пород вообще. Отсюда его очень широкое развитие в природе: от высокогорий тропической зоны до полюсов.

Другая модификация сезонного промерзания пород более локальная, поскольку для ее проявления нужны более специфические условия. Это сезонное промерзание, направленное от мерзлых пород в сторону дневной поверхности, называемое промерзанием снизу.

Поскольку дневная поверхность и поверхность мерзлых пород далеко не всегда горизонтальные, а нередко наклонные вплоть до вертикальных, то указание вверх или вниз от них не всегда правильно передает действительное направление сезонного промерзания. Поэтому промерзание, направленное от дневной поверхности в глубь пород, мы в 1979 г. предложили называть п р я м ы м, а промерзание, развивающееся от поверхности мерзлых пород в сторону дневной, — в о з в р а т н ы м, что более точно указывает их направленность [Втюрин, Втюрина, 1980]. Для проявления возвратного промерзания необходимы и достаточны не два, как для прямого, а три усло-

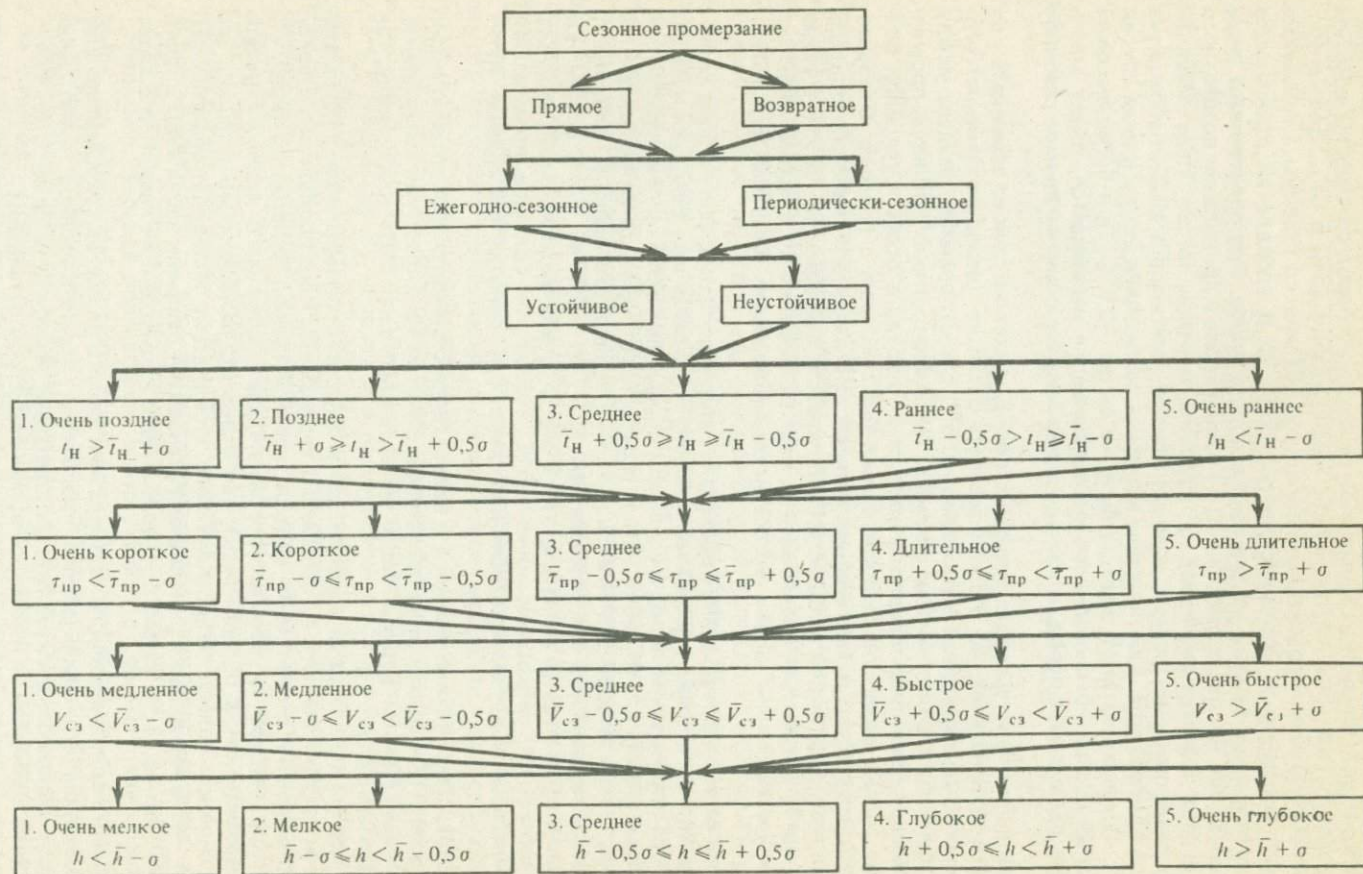


Рис. 2. Классификация сезонного промерзания горных пород

t_H , $\tau_{пр}$, V_{cz} , h — частные и \bar{t}_H , $\bar{\tau}_{пр}$, \bar{V}_{cz} , \bar{h} — средние многолетние значения начала, длительности периода проявления, скорости и глубины; σ — среднее квадратическое отклонение частных значений от среднего

вия: 1) наличие воды, способной замерзнуть в естественном диапазоне отрицательных температур, 2) охлаждение пород со стороны дневной поверхности и от ММП до положительной температуры, близкой к нулю, и 3) охлаждение пород со стороны мерзлой толщи до температуры замерзания какой-либо модификации воды в СКП. Если в проявлении прямого сезонного промерзания пород охлаждение со стороны дневной поверхности играет основную и непосредственную роль, то в проявлении возвратного значение его, хотя и очень важное, но все-таки второстепенное. Оно обеспечивает лишь охлаждение пород, но не их промерзание. Главную роль в проявлении возвратного промерзания играет охлаждение пород со стороны мерзлой толщи, подстилающей СКП. Для его развития мало только наличия близко залегающих ММП, необходима их определенная температура. Как показали натурные наблюдения автора и ряда других исследователей, температура ММП должна быть не выше $-0,5^{\circ}\text{C}$. При более высокой температуре ММП возвратного сезонного промерзания не наблюдается, имеет место лишь некоторое охлаждение пород, в какой-то мере ускоряющие их прямое сезонное промерзание.

Таким образом, температура подстилающих пород может не только замедлять или ускорять прямое промерзание, но и стимулировать развитие (наряду с прямым) возвратного сезонного промерзания. Геоизотерма $-0,5^{\circ}\text{C}$ служит границей раздела между зоной только прямого и областью как прямого, так и возвратного сезонного промерзания пород. Можно пока лишь предполагать, что в природе в особых условиях возможно развитие только возвратного промерзания без сочетания с прямым. Это некоторые субкавальные участки и места раннего аномально высокого снежного покрова в полярных районах. При малой мощности СКП, измеряемой здесь 15–20 см, в таких условиях они могут полностью промерзнуть за счет охлаждения со стороны ММП, но о фактическом установлении только возвратного промерзания СКП нам пока неизвестно.

В зависимости от температуры ММП возвратное сезонное промерзание пород может начинаться позднее, чем прямое, одновременно с ним или раньше его. Если сроки начала прямого сезонного промерзания пород в основном определяются погодными условиями при прочих равных условиях, то сроки начала возвратного промерзания определяются преимущественно температурой ММП и значительно меньше погодными условиями. Согласно имеющимся данным, при температуре ММП от $-0,5$ до -4°C возвратное промерзание начинается позднее прямого, от -4 до -5°C обе модификации сезонного промерзания начинаются синхронно, ниже -5°C возвратное сезонное промерзание становится упреждающим, начинает постоянно проявляться раньше, чем прямое [Втюрина, 1974б].

Таким образом, сроки начала прямого и возвратного сезонного промерзания пород не всегда совпадают. При совместном проявлении развитие их бывает как синхронным, так и метакронным. Причем упреждающим во времени может быть как прямое, так и возвратное промерзание.

Различия в сроках начала двух модификаций сезонного промерзания предопределяют неодинаковую длительность календарного периода ($\tau_{\text{к}}$) их проявления. Период возвратного промерзания может быть меньше, равен и больше периода прямого. Но это касается лишь районов их совместного проявления. Если брать в целом прямое сезонное промерзание как в области ММП, так и вне ее, то календарный период его проявления в основном больше, чем возвратного. Исключение составляет область ММП с температурой -4° и ниже, где $\tau_{\text{к}}$ их сначала становятся равными (зона ММП с температурой от -4° до -5°), а затем $\tau_{\text{к}}$ возвратного промерзания становится больше, чем прямого.

Но календарный период сезонного промерзания далеко не всегда совпадает по длительности с периодом его фактического проявления ($\tau_{\text{пр}}$). Сезонное промерзание пород — процесс в основном дискретный. За холодный сезон оно неоднократно может прерываться и даже сменяться на некоторое время процессом оттаивания.

Следовательно, $\tau_{\text{к}}$ нередко является суммарной величиной длительности периодов: проявления процесса $\tau_{\text{пр}}$, его остановок $\tau_{\text{ост}}$ и частичного оттаивания промерзших пород $\tau_{\text{отт}}$. Соотношение $\tau_{\text{к}}$ и $\tau_{\text{пр}}$ сезонного промерзания и особенности составных частей $\tau_{\text{к}}$ при его несовпадении с $\tau_{\text{пр}}$ позволяют говорить о неоднородности структуры календарного периода сезонного промерзания в природных условиях. Познание основных особенностей структуры $\tau_{\text{к}}$ очень важно при изучении как сезонного промерзания

Таблица 1

Общая классификация структуры календарного периода (τ_K) сезонного промерзания горных пород

Тип	Подтип	Вид	Соотношение числа зим (n) с разной структурой τ_K
Простой $\tau_K^{пр}$	—	—	$\tau_K = \tau_{пр}$
Переходный $\tau_K^п$	Северный $\tau_K^{пс}$	—	$n(\tau_K = \tau_{пр}) \geq n(\tau_K = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
	Южный $\tau_K^{пю}$	—	$n(\tau_K = \tau_{пр}) < n(\tau_K = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
	Двухкомпонентный $\tau_K^{2с}$	—	$\tau_K = \tau_{пр} + \tau_{ост}$
Сложный $\tau_K^с$	Промежуточный $\tau_K^{сп}$	Северный $\tau_K^{спс}$	$n\tau_K = n(\tau_{пр} + \tau_{ост}) \geq n(\tau_K = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт})$
		Южный $\tau_K^{спю}$	$n(\tau_K = \tau_{пр} + \tau_{ост}) < n(\tau_K = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт})$
	Трехкомпонентный $\tau_K^{3с}$	—	$\tau_K = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт}$

пород, так и формирования СМП. Без знания структуры τ_K сезонного промерзания нельзя рассчитать его среднезимнюю скорость, длительность его $\tau_{пр}$, выявить влияние природных факторов на показатели этого процесса, которое нередко выражается именно через структуру τ_K . То же касается прогноза изменения глубины сезонного промерзания. Знание структуры τ_K позволяет более детально разобраться в особенностях процесса формирования СМП, их криогенном строении. Однако до недавнего времени изучению структуры τ_K сезонного промерзания вообще не уделялось внимания. Вопрос о ней впервые был поднят нами в 1979 г. [Втюрина, 1981а]. Анализ структуры τ_K по семи ГМС Приморья позволил показать ее многообразие и построить общую многоступенчатую классификацию структуры τ_K прямого сезонного промерзания, применимую для любого региона (табл. 1). При построении региональных вариантов этой классификации из нее необходимо исключить градации, не свойственные данной территории.

В настоящее время имеются данные, позволяющие судить о структуре τ_K только прямого сезонного промерзания при определении мощности мерзлого горизонта с точностью 1 см. О календарном периоде возвратного промерзания, о его структуре почти ничего нельзя сказать из-за отсутствия данных. Кроме того, по замерам глубины с точностью до 1 см (точность отчета по мерзлотомеру Данилина), по-видимому, трудно судить о структуре τ_K возвратного промерзания из-за его малой скорости, меньшей в основном 1 см в сутки даже в крайних северных районах. Учитывая сравнительно малое влияние внешних факторов на режим возвратного промерзания, есть основания говорить о его большей устойчивости за холодный сезон: остановки должны наблюдаться реже, чем прямого промерзания, а частичное оттаивание, видимо, редко имеет место. Отсюда, предположительно, структура τ_K возвратного сезонного промерзания может быть простой, переходной и сложной двухкомпонентной.

В целом структура τ_K прямого и возвратного сезонного промерзания пород зональна, усложняется с севера на юг с уменьшением суровости природных условий.

Возвратное сезонное промерзание пород отлично от прямого также по скорости и глубине. Об этом можно судить по мощности и времени образования мерзлых пород, возникающих за счет каждой из этих модификаций сезонного промерзания. Возвратное промерзание приводит к формированию мерзлых пород мощностью от 2–5 до 15–20 см, а прямое — от 15–20 до 400–600 см. Это позволяет говорить: 1) о значительно меньшей в основном средней скорости возвратного промерзания и меньшей его глубине по сравнению с прямым, 2) о меньшем варьировании скорости и глубины возвратного сезонного промерзания во времени и пространстве, чем прямого, как в целом по области СМП, так и в районах их совместного развития. Различные показатели свидетельствуют о том, что прямое и возвратное промерзание — разные модификации процесса сезонного промерзания пород. Они требуют одинаково детального исследования

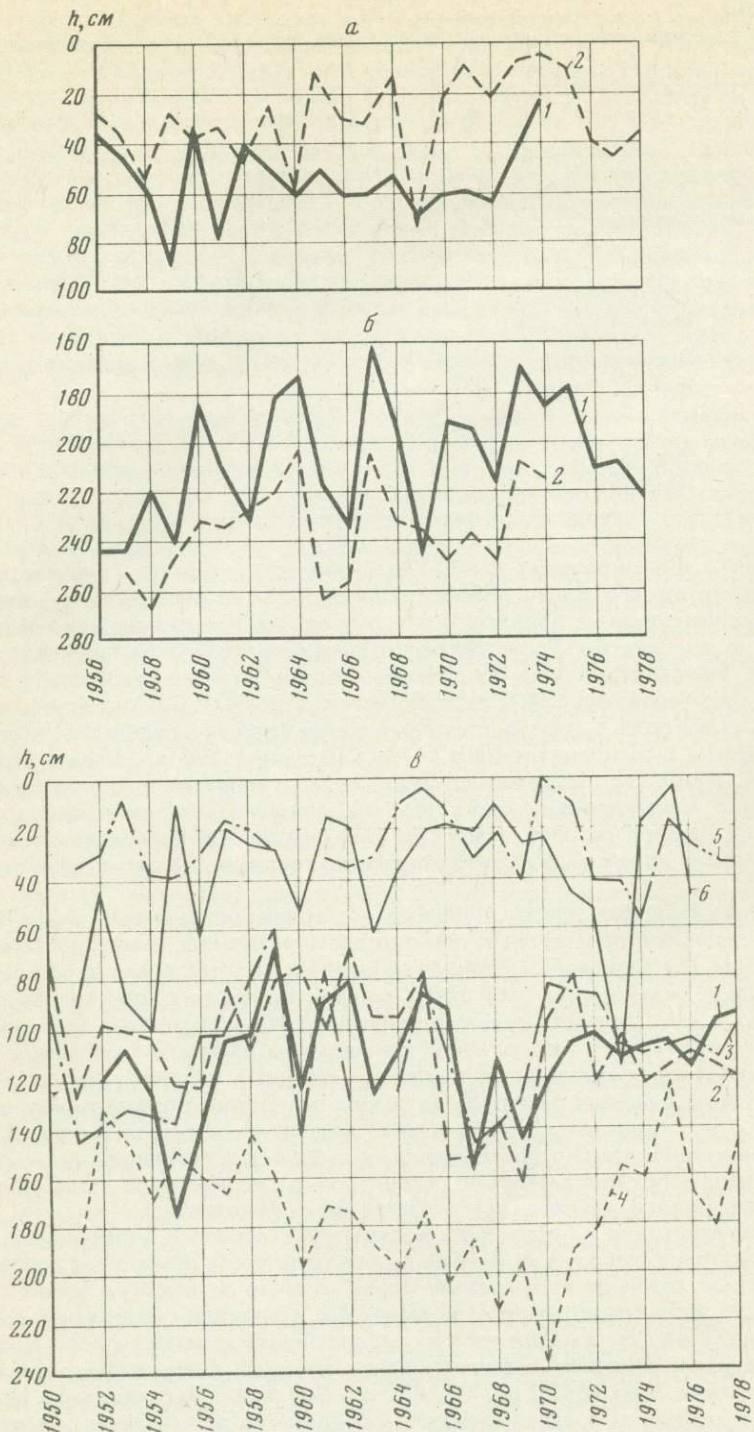


Рис. 3. Сопряженные хронологические графики изменения мощности СМП
 а — Сахалин, АГМС: 1 — Адо-Тымово, 2 — Новоалександровск; б — Приамурье: 1 — Поярково, 2 — Константиновка; в — Западная Сибирь: 1 — Тюмень, 2 — Демьянское, 3 — Вагай ж. д., 4 — Омск; Европейская часть СССР: 5 — Коломыя, 6 — Немчиновка

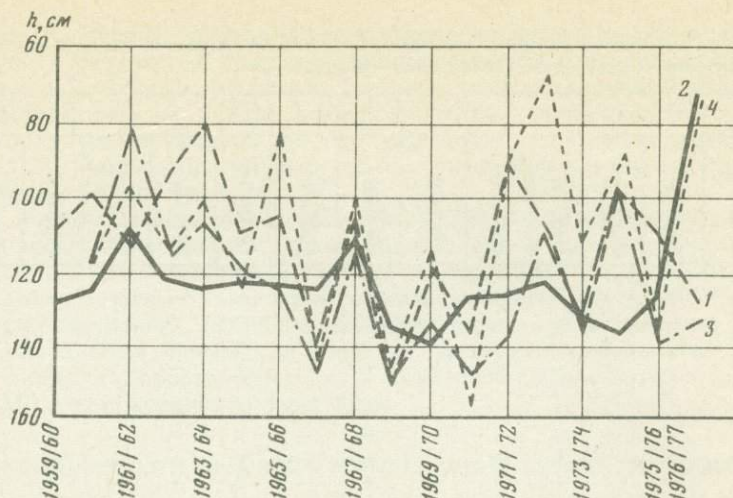


Рис. 4. Сопряженные хронологические графики изменения мощности СМП в Южном Приморье АГМС: 1 — Новосельское, 2 — Тереховка, 3 — Хороль, 4 — Спасск-Дальний

и сопряженного анализа как для выявления их основных особенностей и количественных показателей, так и при изучении проблемы СКП. Исходя из общих особенностей обеих модификаций этого процесса, можно сказать, что размах вариации глубины прямого промерзания во много раз больше, чем возвратного. Особенно сильно она варьирует в тех зонах и районах, где прямое промерзание не сочетается с возвратным. Проведенный нами анализ обширного фактического материала по южной части Приморья и Западной Сибири, по отдельным пунктам Европейской части СССР, Казахстана, Приамурья, Сахалина в сочетании с работами других исследователей по ряду районов позволяет высказать некоторые суждения об особенностях ее изменений во времени. На рис. 3 приведены сопряженные хронологические графики изменения мощности СМП в разных районах СССР. При малой льдистости СМП изменения их мощности почти одинаковы с изменениями глубины сезонного промерзания. Данные показывают, что в одних и тех же районах мощность СМП и глубина прямого промерзания от года к году изменяются в несколько раз. Так, размах вариаций мощности СМП с 1962 по 1977 г. в южной половине Приморья, по данным 25 АГМС и ГМС, преимущественно от 60 до 114 см. На отдельных участках даже за 9–13 лет максимальные ее значения достигали 143 (ГМС Губерово) и 149 см (ГМС Малиново) при минимальных соответственно 35 и 31 см. Это показывает также, что глубина прямого сезонного промерзания здесь изменяется нередко в 2–3 раза и даже в 5 раз за 10–15 лет. В южной части Западной Сибири за период от 10 до 29 лет мощность СМП изменялась в 1,7–3,3 раза. Так, на АГМС Исиль-Куль с 1956 по 1978 г. она колебалась от 98 до 183 см, по данным поста Тевриз за тот же период — от 62 до 203 см, по данным АГМС Тюменское опытное поле (с 1951 по 1978 г.) — от 69 до 177 см, Тюкалинск (с 1947 по 1975 г.) — от 69 до 225 см, Омск (с 1949 по 1977 г.) — от 124 до 240 см; Кокпекты за 24 зимы (1945–1977 гг.) — от 36 до 126 см, т.е. в 3,5 раза. В Европейской части СССР, особенно в южных ее районах, колебания мощности СМП и глубины прямого сезонного промерзания еще больше. По данным АГМС Коломыя, они за 28 лет (1951–1978 гг.) изменялись от 2 до 59 см; в Подмосковье, по данным АГМС Немчиновка за 25 лет (1951–1976 гг.), — от 5 до 116 см, т.е. в 23 раза. Интересные данные по Подмосковью приведены С.В. Шимановским [1957]: в районе Загорска даже за 5 зим (1949–1954 гг.) на одних и тех же площадках мощность СМП изменялась в 12–18 и даже в 22 раза, от 4 до 87 см.

Приведенных данных достаточно для подтверждения непостоянства глубины прямого сезонного промерзания и огромного размаха ее колебаний по времени, возрастающего в основном с севера на юг. В любом районе вне области близко залегающих ММП она изменяется почти каждый год, редко остается постоянной даже два года подряд.

Таблица 2

Направленность изменений глубины прямого сезонного промерзания пород в южной части Приморья (увеличение — знак плюс, уменьшение — минус)

ГМС	Зимы														
	1962/63	1963/64	1964/65	1965/66	1966/67	1967/68	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77
Новосельское	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	+
Свягино			+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
Спасск-Дальний	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
Тереховка		+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-
Халкидон	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
Жариково	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-
Хороль		-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
Астраханка		-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-	+
Турый Рог		-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+

Разным ее значениям свойственна разная обеспеченность, и это необходимо учитывать в практических рекомендациях. Особенно важно это для правильного понимания механизма формирования СКП.

Сопряженные хронологические графики изменений мощности СМП (рис. 4) показывают, что они далеко не всегда совпадают не только по амплитуде, но и по знаку даже в близко расположенных районах. В табл. 2 по девяти ГМС Приморья указан знак изменений глубины промерзания за период с 1962/63 по 1976/77 г. Экстремальные ее значения за это время даже в соседних районах нередко приходится на разные зимы. Так, максимум ее в Новосельском, Хороле и Халкидоне приходится на зиму 1968/69 г., в Тереховке — на 1969/70 г., в Астраханке, Жарикове и Спасске-Дальнем — на 1970/71 г., в Турьем Роге — на 1976/77 г. Минимум наблюдался в Новосельском, Жарикове, Астраханке и Турьем Роге в 1963/64 г., в Хороле, Спасске-Дальнем в 1972/73 г., в Тереховке и Халкидоне в 1976/77 г.

Поскольку репрезентативный период при изучении глубины проявления этих процессов, по предварительным данным, оценивается в 30 лет, то все ее значения за неполный период являются лишь условными средними и экстремальными значениями, приближающимися к истинным значениям с возрастанием длины ряда данных. Учитывая краткость именуемых временных рядов данных о глубине сезонного промерзания и протаивания, по возможности следует удлинять их. Значит, необходимы методы такого удлинения. Представляет интерес метод станций-аналогов, применяющийся в гидрологии, и использование более длиннорядных данных о глубине проникновения 0°C в почву с поправкой на разницу между нею и глубиной сезонного промерзания. Правда, уже сейчас можно сказать, что использование для этого сведений о глубине проникновения 0°C в почву за зиму не исключает серьезных ошибок. Е.Д. Федотовой [1965] за многолетний период по ряду пунктов Среднего Поволжья были рассчитаны отношения глубины проникновения 0°C к мощности СМП по мерзлотомеру Данилина. Оказалось, что значения его неодинаковы в разные годы и на разных участках в один и тот же год. Они колебались от 0,6–0,8 до 1,7–2,0, в среднем составляя 1,3. Естественно, глубина проникновения 0°C никак не может быть меньше мощности СМП. Поэтому значения этого соотношения, меньшие 1, обусловлены, без сомнения, или разным местоположением термометров и мерзлотомера на площадках, разными условиями в местах их установки, или слишком приближенным определением положения 0°C методом интерполяции из-за больших интервалов между термометрами, принятых на ГМС и АГМС, а чаще обеими этими причинами. Однако, даже если не учитывать значения меньше 1, размах вариации этого отношения остается достаточно велик (до 1). Это показывает, что временная динамика глубины проникновения 0°C в гор-

ные породы и глубины их сезонного промерзания не всегда одинаковы. Поэтому к выводам об особенностях пространственно-временной вариации глубины сезонного промерзания и картам, отражающим пространственную дифференциацию этого показателя, построенным на основе данных о глубине проникновения 0°C в породы, следует относиться осторожно. Но при небольших колебаниях значений отношения глубины 0°C к мощности СМП этот метод определения последней может оказаться наиболее эффективным и точным.

Таким образом, анализ некоторых, преимущественно качественных особенностей сезонного промерзания горных пород показал, что в формировании аградационной фазы СКП принимают участие или одна его модификация (преимущественно прямое), или две разные по всем показателям разнонаправленные его модификации (прямое и возвратное промерзание), проявляющиеся синхронно или метасинхронно. Это в совокупности с многолетней динамикой глубины сезонного промерзания обуславливает большую сложность, пространственную и временную неоднородность процесса формирования СМП и их природное многообразие.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СЕЗОННОМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Процесс формирования СМП принципиально отличен от процесса сезонного промерзания, много сложнее его, хотя они, к сожалению, нередко отождествляются. До сих пор нет определения понятия "формирование СМП". Процесс этот лишь недавно стал упоминаться в классификациях ЛКП [Втюрин, Втюрина, 1980]. Для процесса формирования СМП важны не только длительность и определенная ритмичность проявления промерзания, но и длительность сохранения пород в мерзлом состоянии. В формировании СМП участвует и сезонное, и кратковременное промерзание. Промерзание может длиться непрерывно лишь часть суток, но, если породы сохраняются в мерзлом состоянии весь холодный сезон или часть его, это уже СМП.

О том, что формирование СМП и сезонное промерзание пород — разные литокриогенные процессы, свидетельствует различие всех их основных показателей: сроков проявления, длительности и структуры периода проявления, скорости, глубины. Участие кратковременного промерзания в формировании СМП — одна из основных причин несовпадения сроков начала этих процессов. Формирование СМП начинается с того момента, когда породы, промерзшие за ночь, не успевают полностью протаять за следующий день, хотя промерзание их днем систематически прекращается. Мощность мерзлого горизонта пород какое-то время будет наращиваться только за счет кратковременного, в основном ночного промерзания. Чем длиннее этот период, тем больше разница между началом сезонного промерзания пород и началом формирования СМП. При отсутствии периода кратковременного промерзания календарные сроки начала формирования СМП и сезонного промерзания совпадают. Можно предположить, что в одних районах процесс формирования СМП в основном будет опережать сезонное промерзание, в других начинаться одновременно с ним. Последнее более вероятно в зонах и районах, где температура подстилающих СМП пород или выше $+0,5^{\circ}\text{C}$ или ниже $-0,5^{\circ}\text{C}$. В зоне, ограниченной этими геоизотермами, более вероятно преобладающее запаздывание начала сезонного промерзания по сравнению с началом формирования СМП и расхождение длительности календарных периодов их проявления, ограниченных сроками их начала ($t_{\text{н}}$) и окончания ($t_{\text{к}}$).

Календарный период формирования СМП ($\tau_{\text{к}}^{\text{Ф}}$) не везде и не всегда совпадает по длительности с холодным периодом года и даже с зимним сезоном (декабрь—февраль) в их значении, принятом климатологами для умеренных широт. На крайнем юге области СМП, а также в многоснежных районах ее южной зоны сезонное промерзание и формирование СМП приходится в основном на декабрь—февраль, а нередко лишь на наиболее суровую часть зимнего периода. Так, на о-ве Сахалин в 1971/72 г. эти процессы проявлялись: на ГМС Анива с 20.XII по 20.II, в Краснополе с 20.XII по 31.I, а в Лопатине с 20.XI по 22—24.XII. В северной зоне формирование СМП заканчивается в октябре—ноябре, а на островах Ледовитого океана восточного сектора Арктики оно продолжается нередко всего 15—20 дней, т.е. составляет лишь небольшую часть осеннего периода, в основном сентября, а иногда и августа. Максимальная продолжительность $\tau_{\text{к}}^{\text{Ф}}$ СМП отмечается в средней зоне, ограниченной геоизотермами $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, где она в основном соответствует холодному периоду года.

Таким образом, длительность τ_k^Φ закономерно меняется, подчиняясь законам широтной зональности и высотной поясности, достигая максимума в зоне, ограниченной геоизотермами $\pm 0,5^\circ\text{C}$, а с учетом частых колебаний температуры — геоизотермами $\pm 1^\circ\text{C}$, и уменьшаясь как с повышением, так и с понижением температуры пород.

Говорить о динамике количественных показателей процесса формирования СМП за весь холодный период года правомерно лишь применительно в этой средней зоне СМП. Во всех остальных случаях динамика их должна рассматриваться не за холодный период или зимний сезон, а за период проявления процесса формирования СМП, который может быть много меньше холодного периода года, меньше или больше зимнего сезона и даже вообще не совпадать с зимним сезоном.

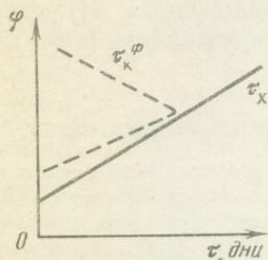


Рис. 5. Зависимость τ_k^Φ и $\tau_{кх}$ от географической широты места

В целом длительность периода формирования доминирующих субазральных СМП колеблется примерно от 15–20 дней и менее на крайнем юге и севере их области до 6–7 мес. в средней зоне, в то время как длительность холодного периода с отрицательной среднесуточной температурой воздуха неуклонно возрастает с юга на север и достигает на крайнем севере 8–9 мес. Следовательно, зависимость длительности τ_k^Φ от географической широты места совершенно иная, чем длительности холодного периода (рис. 5).

Календарный период — это период возможного формирования СМП, однако возможность эта не всегда полностью реализуется, что связано с особенностями структуры τ_k^Φ . Она столь же сложна и многообразна и также до сих пор не изучена, как и структура календарного периода сезонного промерзания. Процесс формирования СМП также дискретен, может временно прекращаться за холодный период и даже сменяться частичной деградацией промерзших пород, но может наблюдаться и непрерывно в течение всего холодного сезона. Учет дискретности процесса формирования СМП, особенностей его проявления, сочетания основных составных частей τ_k^Φ : 1) периода фактического проявления $\tau_{пр}^\Phi$, 2) периода остановок $\tau_{ост}^\Phi$ и 3) частичной деградации промерзшего горизонта $\tau_{д}^\Phi$ позволяют предложить классификацию структуры τ_k^Φ (табл. 3).

Сравнение табл. 1 и 3 показывает сходство классификаций структуры τ_k сезонного промерзания пород и процесса формирования СМП. Однако это только внешнее сходство, поскольку и длительность τ_k этих двух ЛКП, и их дискретность в основном разные. Даже при простой структуре τ_k того и другого процесса длительность календарных периодов их проявления не всегда совпадает из-за участия кратковременного промерзания в формировании СМП. При сложной структуре τ_k сезонного промерзания сложность структуры τ_k^Φ определяется особенностями τ_k как прямого, так и возвратного сезонного промерзания. Если для познания закономерностей сезонного промерзания целесообразно прежде всего раздельное изучение прямого и возвратного промерзания, то познание основных закономерностей процесса формирования СМП возможно лишь при одновременном сопряженном учете особенностей того и другого, если они проявляются совместно. Это обуславливает существенные различия между структурой τ_k сезонного промерзания и структурой τ_k формирования СМП в области проявления и прямого, и возвратного промерзания и их сходство в южной зоне СМП, где только прямое промерзание пород. В последней из них, ограниченной с севера геоизотермой $+0,5^\circ\text{C}$, структура τ_k сезонного промерзания и формирования СМП в основном совпадают: остановки промерзания вызывают временное прекращение формирования СМП,

Таблица 3

Классификация структуры календарного периода формирования СМП $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$

Тип	Подтип	Вид	Соотношение числа зим (n) с разной структурой $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$
Простой $\tau_{\text{к}}^{\Phi_{\text{пр}}}$	—	—	$\tau_{\text{к}}^{\Phi} = \tau_{\text{пр}}^{\Phi}$
Переходный $\tau_{\text{к}}^{\Phi_{\text{п}}}$	Северный $\tau_{\text{к}}^{\Phi_{\text{пс}}}$	—	$n(\tau_{\text{к}}^{\Phi} = \tau_{\text{пр}}^{\Phi}) \geq n(\tau_{\text{к}}^{\Phi} = \tau_{\text{пр}}^{\Phi} + \tau_{\text{ост}}^{\Phi})$
	Южный $\tau_{\text{к}}^{\Phi_{\text{пю}}}$	—	$n(\tau_{\text{к}}^{\Phi} = \tau_{\text{пр}}^{\Phi}) < n(\tau_{\text{к}}^{\Phi} = \tau_{\text{пр}}^{\Phi} + \tau_{\text{ост}}^{\Phi})$
Сложный $\tau_{\text{к}}^{\Phi_{\text{с}}}$	Двухкомпонентный $\tau_{\text{к}}^{\Phi_{\text{2с}}}$	—	$\tau_{\text{к}}^{\Phi} = \tau_{\text{пр}}^{\Phi} + \tau_{\text{ост}}^{\Phi}$
	Промежуточный $\tau_{\text{к}}^{\Phi_{\text{сп}}}$	Северный $\tau_{\text{к}}^{\Phi_{\text{спс}}}$	$n(\tau_{\text{к}}^{\Phi} = \tau_{\text{пр}}^{\Phi} + \tau_{\text{ост}}^{\Phi}) \geq n(\tau_{\text{к}}^{\Phi} = \tau_{\text{пр}}^{\Phi} + \tau_{\text{ост}}^{\Phi} + \tau_{\text{д}}^{\Phi})$
		Южный $\tau_{\text{к}}^{\Phi_{\text{спю}}}$	$n(\tau_{\text{к}}^{\Phi} = \tau_{\text{пр}}^{\Phi} + \tau_{\text{ост}}^{\Phi}) < n(\tau_{\text{к}}^{\Phi} = \tau_{\text{пр}}^{\Phi} + \tau_{\text{ост}}^{\Phi} + \tau_{\text{д}}^{\Phi})$
Трехкомпонентный $\tau_{\text{к}}^{\Phi_{\text{3с}}}$	—	$\tau_{\text{к}}^{\Phi} = \tau_{\text{пр}}^{\Phi} + \tau_{\text{ост}}^{\Phi} + \tau_{\text{д}}^{\Phi}$	

а частичное оттаивание пород означает частичную деградацию промерзшего горизонта СМП.

Проведенный нами анализ структуры $\tau_{\text{к}}$ прямого промерзания Ханкайской равнины в Приморье позволяет уверенно говорить о том, что в этой зоне доминирует сложный тип структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП: от трехкомпонентного у ее южной границы до промежуточного у северной. В зоне, ограниченной геоизотермами $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, более вероятно преобладание двухкомпонентной сложной структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП. Следовательно, зону со сложной структурой $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ ограничивает с севера геоизотерма $+0,5^{\circ}\text{C}$. Однако больше оснований северной границей ее считать геоизотерму 0°C , учитывая частые колебания температуры пород на $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. В зоне, ограниченной геоизотермами $\pm 1^{\circ}\text{C}$, такие колебания температуры пород обуславливают изменение структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП. При этом в южной ее части без ММП более вероятна двухкомпонентная сложная структура $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП, в северной — с ММП более реальна южная переходная структура $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП. В области севернее геоизотермы $-0,5^{\circ}\text{C}$, а с учетом колебаний температуры пород севернее геоизотермы -1°C по дискретности только прямого сезонного промерзания нельзя судить о дискретности процесса формирования СМП.

Временные остановки прямого и возвратного сезонного промерзания пород в этой части области СКП не всегда синхронны. Поэтому при сложной двухкомпонентной структуре $\tau_{\text{к}}$ как прямого, так и возвратного промерзания структура календарного периода формирования СМП может быть простой и сложной двухкомпонентной.

Простая структура $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП при двухкомпонентной $\tau_{\text{к}}$ прямого и возвратного сезонного промерзания пород наблюдается в том случае, когда остановки прямого промерзания по времени не совпадают с остановками возвратного. Формирование СМП идет непрерывно, то за счет одновременного проявления прямого и возвратного промерзания, то только за счет прямого или только возвратного промерзания. Двухкомпонентная структура $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП при той же структуре $\tau_{\text{к}}$ прямого и возвратного промерзания возникает в том случае, если хотя бы часть остановок прямого и возвратного промерзания совпадает по времени. Предположить, что все остановки их совпадают по времени, трудно в основном из-за большей устойчивости возвратного промерзания. Поэтому есть основания считать, что в данном случае, хотя тип и подтип структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП будут сходны с таковыми $\tau_{\text{к}}$ прямого и возвратного промерзания, дискретность процесса формирования СМП меньше дискретности прямого и, видимо, меньше или равна дискретности возвратного промерзания. К сожалению, до сих пор нет никаких данных о структуре $\tau_{\text{к}}$ возвратного сезонного промерзания для более уверенного суждения об этом.

Таким образом, структура τ_{κ}^{Φ} может совпадать и не совпадать со структурой периода сезонного промерзания пород. Следствие этого — несовпадение границ территорий с одинаковыми по названию доминирующими типами структуры периодов сезонного промерзания и формирования СМП: простая структура τ_{κ}^{Φ} должна наблюдаться на большей территории, чем аналогичная структура периода промерзания пород. В целом сложность структуры τ_{κ}^{Φ} возрастает с севера на юг, с повышением температуры воздуха и пород.

В горных районах изменение структуры τ_{κ}^{Φ} СМП определяется главным образом характером геокриологической поясности — континентальной или океанической [Баранов, 1952; Кудрявцев, 1954; Луговой, 1970; Втюрина, 1970; Горбунов, 1971, 1974; Шац, 1978; и др.] и абсолютными отметками гор. При океаническом типе поясности изменение ее с высотой аналогично таковому при движении с юга на север. В зависимости от типа τ_{κ}^{Φ} у подножия гор и их высоты может наблюдаться последовательная смена всех типов, подтипов и видов структуры τ_{κ}^{Φ} или части их. Чем выше отметки гор и чем выше температура подстилающих пород у их подножия, тем полнее спектр типов структуры τ_{κ}^{Φ} в их пределах.

При континентальном типе геокриологической поясности, доминирующем в природе, изменение структуры τ_{κ}^{Φ} имеет более сложный характер. Смена ее типов в таких горных странах зависит не только от их высоты и температуры пород у их подошвы, но и от особенностей среднего или переходного пояса. В тех случаях, когда в переходном поясе температура пород выше 0°C , структура τ_{κ}^{Φ} СМП в его пределах сложная двух-, трехкомпонентная или промежуточная. Вверх и вниз от этого пояса она сменяется переходной и простой или только переходной в зависимости от высоты гор и температуры пород у их подножия. Дополнительные коррективы вносит топография горных стран, существенно осложняющая указанные общие закономерности изменения структуры τ_{κ}^{Φ} .

Сеть АГМС и ГМС, ведущих наблюдения за сезонным промерзанием и протаиванием пород, на территории СССР довольно густая, и обработка полученных данных в дальнейшем позволит составить достаточно детальное представление о пространственных особенностях изменения структуры τ_{κ}^{Φ} . А пока можно лишь приблизительно указать его структуру, доминирующую в той или иной зоне. Простой тип структуры доминирует в северной подзоне северной зоны, ограниченной геоизотермой -4°C . Осенью запас тепла в талом слое незначителен и не может вызывать частичное возвратное оттаивание промерзающих пород.

Южнее, в подзоне, ограниченной геоизотермами -4 и -1°C , более вероятно доминирование северного подтипа переходного типа — $\tau_{\kappa}^{\Phi\text{пс}}$. Здесь также проявляется и прямое, и возвратное промерзание, что говорит о сравнительно небольшом запасе тепла осенью в талом горизонте пород. Однако при обильных снегопадах и оттепелях здесь возможны остановки промерзания и формирования СМП, особенно до начала возвратного промерзания.

В северной подзоне средней зоны, между геоизотермами -1 и 0°C , более вероятна доминирующая роль южного подтипа переходного типа, а в ее южной подзоне, между геоизотермами 0 и 1°C , — сложного типа двухкомпонентного подтипа $\tau_{\kappa}^{\Phi\text{гс}}$. В этих подзонах остановки процессов промерзания и формирования СМП — явление типичное, в последней из них наблюдающееся практически каждую зиму. В северной подзоне южной зоны, ограниченной геоизотермами 1 и 4°C , доминирует северный вид промежуточного подтипа сложного типа τ_{κ}^{Φ} , а в средней подзоне, между геоизотермами 4 и 5°C , — его южный вид. Это подтверждает проведенный нами анализ каждодневных и пентадных данных о ходе сезонного промерзания пород по 37 АГМС юга Западной Сибири, 32 АГМС и ГМС Южного Приморья и 13 АГМС Сахалина. На территориях, ограниченных геоизотермами 1 и 4°C преобладают зимы со сложной двухкомпонентной структурой τ_{κ}^{Φ} , реже отмечается его трехкомпонентная структура [Втюрина, 1981а]. Южнее более часты зимы с трехкомпонентной его структурой, а к югу от геоизотермы $+5^{\circ}\text{C}$ в южной подзоне южной зоны она становится доминирующей.

Установление зависимости структуры τ_{κ}^{Φ} СМП от наличия и особенностей проявления возвратного промерзания, от температуры пород в зоне нулевых годовых коле-

баний позволяет составить карту-схему структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП на территории СССР (рис. 6). Как известно, имеющиеся к настоящему времени карты-схемы температуры ММП построены с учетом температуры пород то в долинах, то на водораздельных пространствах, то с учетом всех имеющихся фактических сведений о ней, то расчетных ее значений. Это приводит к различному пространственному положению одних и тех же геоизотерм на картах даже одного и того же региона. В горных районах этот вопрос осложняется разными, подчас противоречивыми взглядами на высотную геокриологическую поясность [Баранов, 1952; Кудрявцев, 1954; Луговой, 1970; Втюрина, 1970; Горбунов, 1971, 1974; Шац, 1978; и др.]. Все это вынуждает нас использовать имеющиеся к настоящему времени опубликованные общесоюзные геокриологические карты и отображать положение необходимых для наших целей геоизотерм с той точностью, с какой они показаны на таких картах.

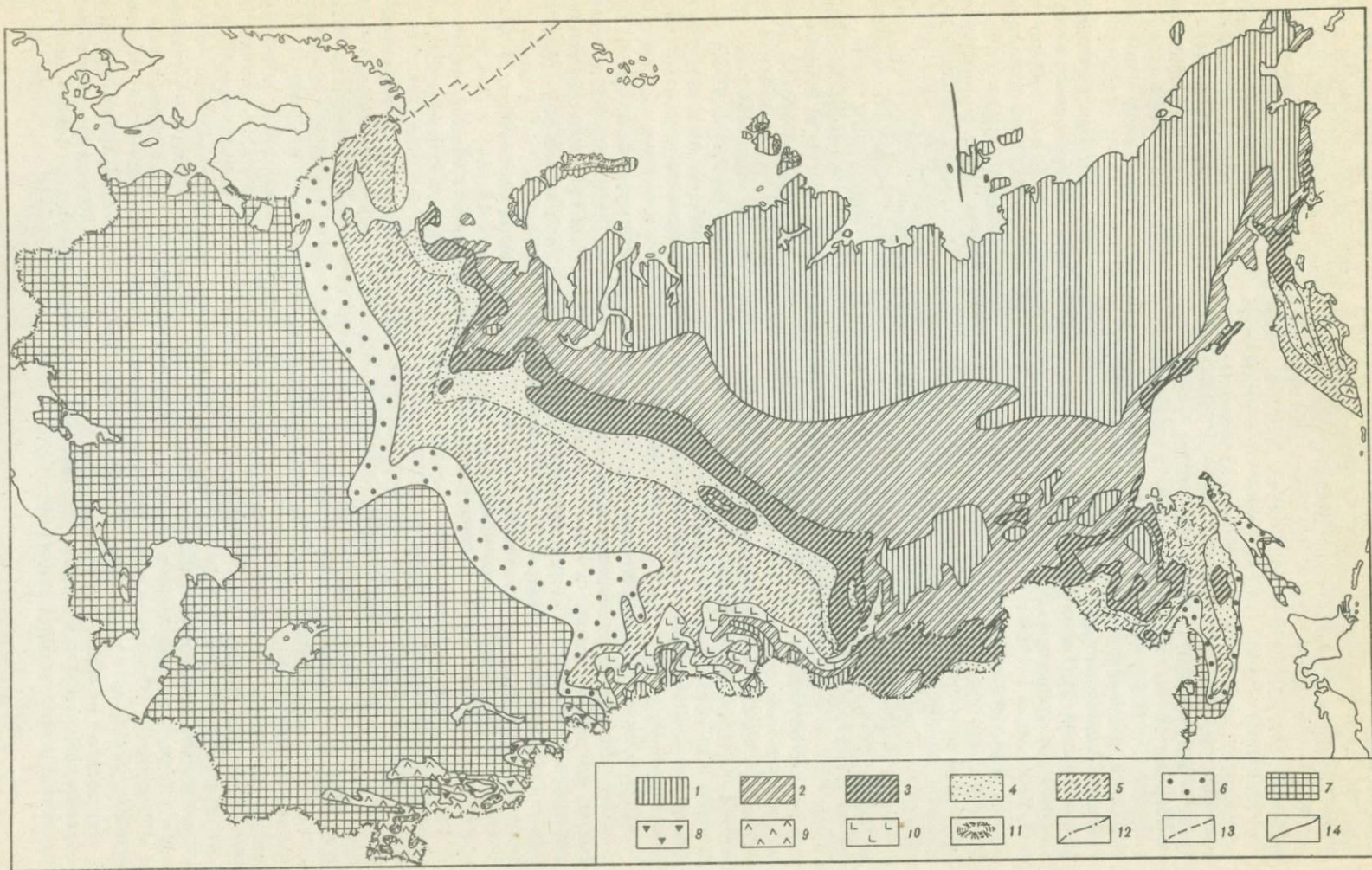
Положение геоизотерм -4 , -1 , 0 , $+1$, $+4$ и $+5^{\circ}\text{C}$ на карте-схеме структуры периода формирования СМП и на всех остальных картах-схемах, приведенных в данной работе, показано в соответствии с положением их на геокриологической карте, составленной И.Я. Барановым в 1956 г. и уточненной им позднее. Вне области ММП им даны геоизотермы, отражающие температуру пород не в зоне нулевых годовых колебаний, а на глубине 3 м. Но при невысокой положительной температуре пород ее значения на глубине 3 м незначительно (на $0,2-0,3^{\circ}$) отличаются от ее значений в зоне нулевых годовых амплитуд. А потому отображение положения геоизотерм $+1$, $+4$ и $+5^{\circ}\text{C}$ по температуре пород на глубине 3 м вместо зоны нулевых годовых колебаний в данном случае не приведет к существенным искажениям, особенно при столь мелком масштабе карты. Естественно, уточнение положения геоизотерм на территории СССР по сравнению с картой И.Я. Баранова неизбежно приведет также и к уточнению положения границ зон и подзон на ряде построенных нами карт-схем. Однако в большинстве случаев это обусловит, видимо, лишь некоторое смещение границ зон и подзон, разных по качественным особенностям СМП, СТП и СКП, но не изменит ни основных закономерностей пространственной дифференциации их качественных характеристик, показанных на этих картах-схемах, ни принципиальных различий регионов СССР по их особенностям. Исключения составляют в основном горные районы, но в их пределах при таком мелком масштабе карт-схем возможно лишь отображение комплекса характеристик СМП, СТП и СКП с указанием направленности их изменения с высотой.

Картографическое отображение структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП четко показало ее зональность, с одной стороны, и неоднородность в разных регионах — с другой. В СССР прослеживаются все типы, подтипы и виды структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП, от простой на севере до сложной трехкомпонентной на юге. Однако полная гамма свойственна лишь Европейской части, Западной Сибири, Средней Азии и Дальнему Востоку. При этом роль разных типов и подтипов структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП в разных регионах неодинакова. В целом по СССР с запада на восток возрастает роль простой его структуры.

В Европейской части СССР доминирует сложная трехкомпонентная структура $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП. Меньшее значение имеют промежуточная и переходная, а простая характерна лишь для арктических островов.

В Западной Сибири простая структура $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП свойственна не только арктическим островам, но и полуостровам. Здесь прослеживаются все типы, подтипы и виды структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП. В Казахстане и Средней Азии доминирует трехкомпонентная структура, кроме южных горных районов, в которых проявляются все ее градации: от трехкомпонентной у подножий до простой в высокогорьях вне ледников и вечных снегов.

В Восточной Сибири, включая Прибайкалье, Забайкалье и Приамурье, в северной части доминируют простая и переходная структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП, а трехкомпонентная не свойственна даже ее южным районам. К востоку от р. Яны простая структура $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП становится резко преобладающей. На Дальнем Востоке вновь начинают проявляться все ее градации: от простой и переходной на Чукотке и по побережью Охотского моря до двухкомпонентной и промежуточной на Камчатке и трехкомпонентной на юге Сахалина и Приморья. На мелкомасштабной карте-схеме невозможно показать сложную и неодинаковую поясность структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ СМП в южных горных районах. В их пределах показан в основном комплекс ее градаций от подножий к вершинам, свойственный тому или иному горному району, преимущественно без конкретных границ проявления каждой градации.



В пределах каждой зоны и подзоны в силу неоднородности природных условий почти обязательно есть участки с аazonальной структурой τ_{κ}^{Φ} , свойственной более северным или более южным зонам и подзонам. Исключение, видимо, составляют самые крайние северные и южные части области СМП, в пределах которых существующая дифференциация природной обстановки не обуславливает существенных изменений структуры τ_{κ}^{Φ} . Поэтому на картах более крупного масштаба, с более детальным отображением температуры пород, зоны и подзоны с разной структурой τ_{κ}^{Φ} примут иные, более сложные очертания. Составленная нами карта-схема отображает лишь основные общие закономерности изменения структуры τ_{κ}^{Φ} на территории СССР. Ее особенности необходимо учитывать при расчетном определении мощности СМП и прогнозе ее изменений. Нередко уменьшение мощности СМП вне области ММП является следствием не сокращения длительности периода формирования СМП, а изменения его структуры при той же или даже большей длительности. Об этом свидетельствует несовпадение временной динамики длительности календарного периода формирования СМП здесь и их мощности в длинном временном ряду, установленное нами по нескольким десяткам пунктов Южного Приморья, Сахалина, Приамурья, юга Западной Сибири и т.д. (рис. 7). Конечно, вопрос о структуре календарного периода сезонного промерзания и формирования СМП еще совершенно не исследован. Однако уже сейчас можно сказать, что ее детальное исследование поможет правильнее понять особенности ряда литокриогенных процессов и явлений, связанных с СКП.

Скорости процессов сезонного промерзания и формирования СМП также далеко не всегда совпадают. Они близки по значениям и динамике в южной части области СМП, где температура подстилающих пород выше $0,5^{\circ}\text{C}$. Как указывалось, СМП здесь формируются в процессе лишь прямого сезонного промерзания, и все природные факторы, влияющие на его скорость, аналогично воздействуют и на скорость формирования СМП. В основном наибольшая скорость этих процессов здесь приходится на начало зимы и постепенно уменьшается к концу ее ($V_1^{\Phi} > V_2^{\Phi} > V_3^{\Phi}$), кроме зим, аномальных по погодным условиям. Исключения составляют малоснежные районы, где изменение скорости формирования СМП (и промерзания пород) больше зависит от особенностей хода температуры воздуха и поверхности. Для них более типично возрастание скорости этих процессов к середине зимы (декабрь-январь) и уменьшение к концу ее: $V_1 < V_2 > V_3$, причем $V_1 > V_3$.

В более северных районах факторов, влияющих на скорость формирования СМП, становится больше, чем факторов, влияющих на скорость сезонного промерзания. Роль одного из них — соотношения времени начала прямого и возвратного сезонного промерзания — особенно ярко проявляется в том случае, если вся толща СМП формируется из пород, промерзающих в данную зиму. При этом условия общие закономерности динамики скорости формирования СМП таковы. Если упреждающим является прямое промерзание (часть области СМП между геоизотермами $-0,5$ и -4°C), скорость формирования СМП довольно высокая на протяжении большей части периода проявления этого процесса. Максимальные ее значения приходятся на период одновременного проявления прямого и возвратного промерзания, когда скорость формирования СМП становится равной сумме скоростей каждого из них, т.е. примерно на середину календарного периода формирования СМП. К концу его скорость формирования СМП преимущественно несколько уменьшается, в самом же конце периода, когда промерзает наиболее иссушенная часть СМП, она вновь резко возрастает ($V_1^{\Phi} < V_2^{\Phi} > V_3^{\Phi}$).

В зоне СМП с температурой подстилающих пород от -4 до -5°C , где обе модификации сезонного промерзания проявляются синхронно, максимальная скорость формирования СМП приходится в основном на первую половину его периода, во вторую —

Рис. 6. Карта-схема структуры календарного периода формирования τ_{κ}^{Φ} СМП. Составила Е.А. Втюрина

Структуры: 1 — простая, 2 — переходная северная, 3 — переходная южная; 4–7 — сложные: 4 — двухкомпонентная, 5 — промежуточная северная, 6 — промежуточная южная, 7 — трехкомпонентная; 8–10 — сочетания: 8 — всех подтипов и видов сложного типа, меняющихся с высотой, начиная от трехкомпонентной, 9 — переходной и простой, меняющихся с высотой, начиная от южной переходной, 10 — двухкомпонентной и переходной южного подтипа. 11 — ледники. Южные границы зон: 12 — северной, 13 — средней, 14 — границы подзон и районов с разной структурой τ_{κ}^{Φ} СМП

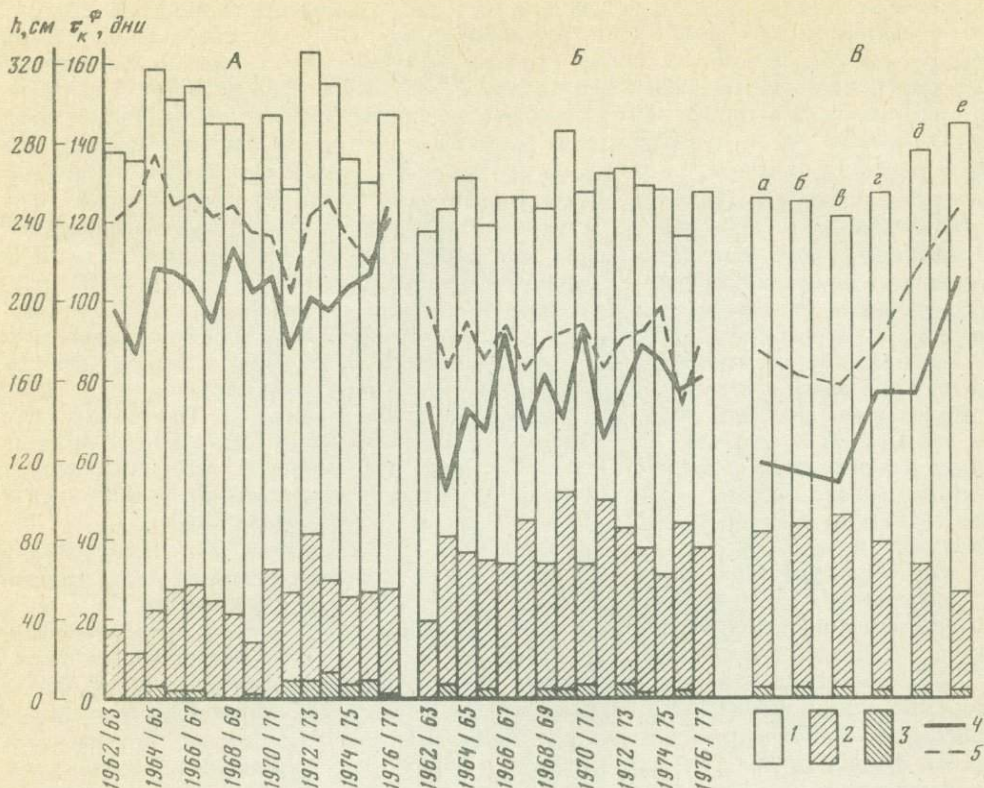


Рис. 7. Изменение структуры $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$ и мощности СМП в Южном Приморье с 1962/63 по 1976/77 г.

А — Турый Рог; Б — Астраханка; В — средняя многолетняя структура $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$: а — Новосельское, б — Спасск-Дальний, в — Халкидон, г — Астраханка, д — Жариково, е — Турый Рог. 1 — $\tau_{\text{пр}}$; 2 — $\tau_{\text{ост}}$; 3 — $\tau_{\text{отт}}$; 4 — мощность СМП; 5 — $\tau_{\text{пр}}$ при отсчете от оси абсцисс

она преимущественно уменьшается, возрастая на короткое время лишь в самом конце ($V_1^{\Phi} > V_2^{\Phi} > V_3^{\Phi}$ или $V_1^{\Phi} > V_2^{\Phi}$, V_3^{Φ} , но $V_2^{\Phi} < V_3^{\Phi}$).

В крайних северных районах, где температура пород -5°C и ниже, наименьшая скорость формирования СМП наблюдается в начале холодного периода, когда СМП формируются только за счет возвратного промерзания со скоростью в основном доли сантиметра в сутки. С началом прямого промерзания наряду с возвратным она резко возрастает, а к концу периода может оставаться неизменной, возрастая или уменьшаться в зависимости от особенностей хода температуры воздуха, режима снегонакопления, структурных изменений в снежной толще, влажности пород, промерзающих в этот отрезок времени, чаще оставаясь высокой на протяжении большей части периода ($V_1^{\Phi} < V_2^{\Phi}$, V_3^{Φ} , $V_2^{\Phi} \geq V_3^{\Phi}$, в основном $V_2^{\Phi} > V_3^{\Phi}$). Аналогичным образом меняется динамика скорости формирования СМП в горных странах, если изменение абсолютной высоты места обуславливает переход температуры пород через критические для этого процесса значения ($\pm 0,5$, -4 и -5°C).

Рассмотренные особенности изменения скорости формирования СМП за период проявления этого процесса справедливы лишь при условии, что вся толща СМП полностью формируется в данный год. Однако в ряде случаев формирование СМП идет не только за счет пород, промерзающих в данный год, но и за счет пород, промерзших в один или несколько предшествующих холодных сезонов и сохраняющихся мерзлыми вследствие многолетней временной динамики глубины сезонного промерзания и протаивания пород.

Совокупное влияние особенностей многолетней динамики глубины проявления

этих процессов на формирование СМП — второй фактор, предопределяющий расхождение значений и временной динамики скорости, а также длительности периодов проявления процессов формирования СМП, с одной стороны, прямого и возвратного промерзания — с другой. Как указывалось, глубина сезонного промерзания и протаивания пород весьма непостоянна во времени. Начиная с той части области СМП, где потенциальные значения мощности СМП и глубины сезонного протаивания примерно одинаковы, несоответствие их временной динамики приводит к образованию остаточного горизонта СМП, не успевающего протаять за теплый период. Он сохраняется до следующего холодного периода, соединяется с вновь формирующейся частью СМП, образуя с ней единую толщу СМП. Формирование СМП иногда продолжается и после включения в ее состав остаточного горизонта. Иногда вновь формирующаяся часть толщи СМП не достигает его поверхности. Тогда формируется слоистая или прерывистая по вертикали толща СМП. По-видимому, геоизотерма $+1^{\circ}\text{C}$ служит южной границей той части области СМП, в которой возможно сохранение остаточного горизонта СМП. Южнее потенциальное сезонное протаивание превосходит реальную мощность СМП, что исключает возможность сохранения в теплый период года их остаточного горизонта. Каждый год СМП здесь полностью формируются за одну зиму, т.е. являются монохронными.

С продвижением к северу от геоизотермы 1°C частота появления остаточного мерзлого горизонта и его роль в формировании СМП возрастают: сначала он появляется лишь в отдельные годы, в основном после аномально суровых зим, причем чем севернее, тем чаще он наблюдается. Период его существования постепенно становится сначала равным 15 годам, т.е. половине репрезентативного периода (зона, ограниченная геоизотермами 0 и $-0,5^{\circ}$), а затем превосходит эту величину. Севернее геоизотермы $-0,5^{\circ}\text{C}$ СМП формируются в основном с участием остаточного мерзлого горизонта. Здесь слагающим его породам больше свойственно мерзлое состояние, чем талое, которое наблюдается лишь периодически в годы максимального сезонного протаивания.

Участие остаточного горизонта в формировании толщи СМП не только усиливает расхождение скоростей сезонного промерзания пород и формирования СМП, но и меняет тип их формирования. Оно вызывает скачкообразное возрастание общей скорости формирования толщи СМП даже при уменьшении скорости промерзания. Время включения остаточного горизонта в состав толщи СМП разное. В северной части области СМП, ограниченной с юга геоизотермой $-0,5^{\circ}\text{C}$, оно определяется временем начала возвратного промерзания, совпадая с ним. В ее пределах с продвижением к северу время наиболее резкого изменения скорости формирования СМП, вызванное включением остаточного мерзлого горизонта, все более сдвигается к началу периода проявления этого процесса и совпадает с ним на крайнем севере, к северу от геоизотермы -5°C . В средней зоне, ограниченной геоизотермами $\pm 0,5^{\circ}$, включение остаточного горизонта в состав толщи СМП происходит в самом конце периода их формирования, вследствие чего срок наиболее резкого изменения скорости этого процесса в основном совпадает с датой окончания прямого сезонного промерзания, редко немного опережает ее.

Время существования остаточного горизонта СМП разное, дифференцировано по вертикальному профилю. Для самой верхней его части оно не может быть меньше 1 года, а нижняя часть может протаивать всего один раз за 30 лет. В любом случае, если толща СМП формируется с участием остаточного горизонта, время формирования (или возраст) ее верхнего и нижнего остаточного горизонта разное. Минимальная разница в возрасте слагающих их мерзлых пород около 1 года, но может достигать нескольких десятков лет. Главное в том, что верхний горизонт СМП и их нижний остаточный горизонт сформировались в разные холодные сезоны, нередко при разном режиме сезонного промерзания, т.е. метакронны. Очевидно, что влияние особенностей многолетней динамики глубины сезонного промерзания и протаивания, обуславливающих возможность образования остаточного горизонта СМП, весьма существенно осложняет процесс формирования толщи СМП, но не сказывается на качественных показателях сезонного промерзания. Учитывая периодичность сезонного цикла промерзания—протаивания и соотношение времени формирования разных горизонтов, можно сказать, что СМП в северной зоне в основном формируются из трех горизонтов: 1) ежегодно-сезонномерзлого, 2) периодически-сезонномерзлого, монохронного с

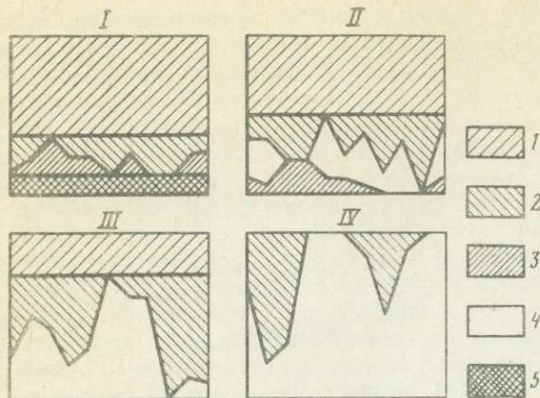


Рис. 8. Основные генетические типы СМП

Полихронные: I — систематические, II — несистематические; монохронные: III — систематические, IV — несистематические. Горизонты: 1 — ежегодного сезонного промерзания, 2 — неежегодного сезонного промерзания, синхронный с верхним горизонтом, 3 — остаточный мерзлый, 4 — талье и немерзлые породы, 5 — ММП

первым и 3) остаточного мерзлого горизонта, метасинхронного с первым и вторым (рис. 8).

В средней зоне между геоизотермами $\pm 0,5^\circ$ или $\pm 1^\circ$ с учетом частых колебаний температуры пород, где остаточный мерзлый горизонт формируется не всегда, СМП слагаются или теми же тремя горизонтами, что и в северной зоне, или двумя первыми из них. Южнее геоизотермы $+1^\circ$ С в СМП различаются только два горизонта: 1) ежегодно-сезонномерзлый и 2) монохронный с ним периодически-сезонномерзлый.

Близ южной границы области СМП, а также в отдельных многоснежных районах ежегодно-сезонномерзлый горизонт вообще не формируется. СМП здесь полностью являются периодически-сезонномерзлыми из-за неежегодного проявления сезонного промерзания пород. В этом убеждают данные о сезонном промерзании пород на о-ве Сахалин: по данным ГМС Долинск за период с 1955/56 по 1973/74 г. формирования СМП практически не наблюдалось в 1964/65 и 1973/74 г. В первом случае мерзлые породы мощностью 1–2 см (максимум 6 см) фиксировались с перерывами с 31.X по 31.XII, во втором — мерзлые породы мощностью 1–3 см наблюдались с 20.XI по 20.XII, также с перерывами из-за полного протаивания. Столь незначительная мощность мерзлых пород, фиксируемая на конец пентады в течение указанного срока, не позволяет уверенно говорить о формировании СМП здесь в эти зимы. Это вполне могут быть и кратковременномерзлые породы (результат лишь ночного промерзания), протаивающие за день при высоте снежного покрова до конца ноября от 4–8 до 20–24 см, а в декабре от 34 до 52 см. В зиму 1972/73 г. с 25.XI по 10.I и затем с 15.II по 31.III на ГМС Долинск каждую пентаду отмечалась неизменная мощность мерзлых пород, равная всего 1 см. Отсюда если в Долинске и формируется ежегодно-сезонномерзлый горизонт СМП, то мощность его всего 1 см, т.е. в пределах точности мерзлотомера Данилина. Следовательно, на участках неежегодного, несистематического проявления сезонного промерзания СМП полностью сформированы периодически-сезонномерзлыми породами, образовавшимися за одну зиму.

Таким образом, процесс формирования СМП — аградационной фазы СКП весьма многообразный, в целом осложняющийся с возрастанием суровости природных условий. Это самостоятельный литокриогенный процесс, более сложный, чем сезонное промерзание пород, от которого он отличается по всем своим показателям, их временной и пространственной динамике. Сходство между ними возможно лишь в южной части области СМП, где не развивается возвратное промерзание пород, а многолетняя динамика глубины сезонного промерзания и протаивания не приводит к формированию остаточного горизонта СМП.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СЕЗОННОМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Как показал анализ особенностей процесса формирования СМП, его общая классификация может быть построена с учетом следующих признаков: 1) соотношения времени проявления сезонного промерзания пород и времени их участия в формировании СМП; 2) временной динамики глубины сезонного промерзания и протаивания пород; 3) ритмичности формирования СМП; 4) направленности сезонного промерзания

(прямое, возвратное, сочетание того и другого); 5) роли прямого и возвратного промерзания в формировании СМП, определяемой главным образом соотношением сроков их начала, и длительности периодов их проявления; 6) срока начала формирования СМП ($t_{н}^{\Phi}$); 7) длительности периода их формирования (фактического $t_{пр}^{\Phi}$ или календарного $t_{к}^{\Phi}$); 8) скорости процесса формирования СМП (V_{Φ}); 9) глубины проявления этого процесса (h_{Φ}). Первые пять признаков — качественные, позволяющие выделить наиболее высокие по рангу градации процесса формирования СМП. Остальные четыре признака количественные, учет которых позволяет показать не только общие, но и частные закономерности развития этого процесса. В совокупности они позволили построить детальную многоступенчатую классификацию процесса формирования СМП, отражающую его природную сложность и многообразие (рис. 9).

По первому признаку процесс формирования СМП делится на две градации I ранга: 1) монохронное — вся толща формируется из пород, промерзших за один и тот же холодный сезон (рис. 9, 10), и 2) полихронное — формирование толщи СМП идет не только в результате сезонного промерзания пород в данную зиму, но и присоединения к ним мерзлых пород остаточного горизонта, промерзших в предшествующие холодные сезоны.

По ритмичности проявления как моно-, так и полихронное формирование СМП можно разделить на две градации II ранга: 1) систематическое, проявляющееся ежегодно, и 2) несистематическое, или периодическое, проявляющееся не ежегодно.

В зависимости от того, формируются СМП в процессе только прямого или только возвратного сезонного промерзания или при их совместном проявлении, каждая градация II ранга подразделяется на две градации III ранга: 1) моногенетическое формирование — СМП целиком формируются при однонаправленном промерзании (прямом или возвратном) и 2) полигенетическое — в формировании СМП участвуют обе модификации сезонного промерзания: и прямое, и возвратное.

Моногенетическое формирование СМП в зависимости от направленности сезонного промерзания подразделяется на две градации IV ранга: 1) прямое и 2) возвратное.

Полигенетическое формирование СМП более сложное, особенно полихронное. Многообразие его определяется разным соотношением сроков начала прямого и возвратного промерзания при монохронном полигенетическом формировании СМП, а при полихронном, кроме того, разной сложностью формирования остаточного мерзлого горизонта.

Монохронное полигенетическое формирование СМП подразделяется на две градации IV ранга: 1) синхронное — прямое и возвратное промерзание при формировании СМП начинаются одновременно и 2) метакхронное — прямое и возвратное промерзание начинаются в разные сроки.

Полихронное полигенетическое формирование СМП подразделяется на шесть градаций IV ранга: 1) синхронно-возвратное — при формировании СМП в данный холодный период прямое и возвратное сезонное промерзание развивались синхронно, а остаточный горизонт их сформировался в процессе возвратного промерзания; 2) метакхронно-возвратное — при формировании СМП в данную зиму прямое и возвратное промерзание развивались неодновременно, метакхронно, а остаточный горизонт их сформировался в процессе возвратного промерзания; 3) сложное синхронное — в данную зиму и предшествующую прямое и возвратное промерзание развивались синхронно и остаточный горизонт также результат синхронного их проявления. От прошлых зим сохраняются породы не только возвратнопромерзшие, но частично и прямопромерзшие; 4) сложное метакхронное — в данную зиму и предшествующие СМП формировались при неодновременном развитии прямого и возвратного промерзания, от предшествующих зим в виде остаточного горизонта сохранились не только возвратнопромерзшие породы, но и часть прямопромерзших; 5) очень сложное синхронно-метакхронное, развивающееся при общих изменениях природной обстановки, приводящих к изменению соотношения сроков начала прямого и возвратного сезонного промерзания пород. В результате верхняя часть СМП формируется при неодновременном развитии этих процессов, а нижняя, т.е. остаточный горизонт их, сохранившийся от предшествующих зим, промерзала при одновременном развитии прямого и возвратного сезонного промерзания; 6) очень сложное метакхронно-синхронное, развивающееся при тех же условиях но в данную зиму верхняя часть СМП формируется

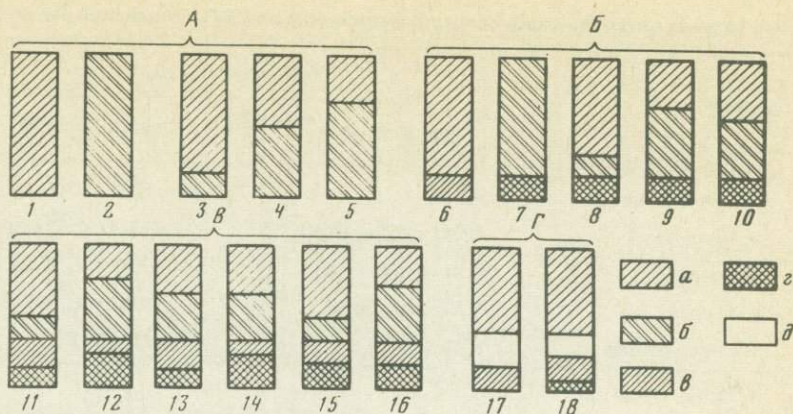


Рис. 10. Основные способы формирования СМП

А — монохронное: моногенетическое: 1 — прямое, 2 — возвратное; полигенетическое: 3 — метакхронное прямоупреждающее, 4 — синхронное, 5 — метакхронное возвратноупреждающее. Б — полихронное сложное слитное: моногенетическое: 6 — прямое, 7 — возвратное; полигенетическое: 8 — метакхронное прямоупреждающее, 9 — то же, возвратноупреждающее, 10 — синхронное. В — полихронное очень сложное слитное: 11 — метакхронное прямоупреждающее, 12 — то же, возвратноупреждающее, 13 — метакхронно-синхронное прямоупреждающее, 14 — то же, возвратноупреждающее, 15 — синхронно-метакхронное прямоупреждающее, 16 — то же, возвратноупреждающее. Г — полихронное разобшенное: 17 — моногенетическое прямое, 18 — полигенетическое сложное метакхронное прямоупреждающее. а — прямое и б — возвратное формирование СМП в данный год; в — прямое и z — возвратное формирование СМП в предшествующие зимы. При полигенетическом метакхронном формировании СМП упреждающее показано большей площадью штриховки; д — талая порода

при одновременном развитии прямого и возвратного промерзания, а нижняя их часть, т.е. остаточный горизонт, формировалась в предшествующие зимы при неодновременном развитии этих процессов. В зависимости от соотношения сроков начала прямого и возвратного промерзания пород метакхронное формирование СМП подразделяется на две градации V ранга: 1) прямоупреждающее — прямое промерзание при формировании СМП начинается раньше возвратного и 2) возвратноупреждающее — раньше начинается возвратное сезонное промерзание.

Таковые качественные градации процесса формирования СМП. Учет пяти качественных признаков позволяет выделить 68 градаций этого процесса. Характеристика формирования СМП только с учетом этих качественных признаков, которая возможна уже в настоящее время, позволяет довольно детально разобраться в общих и частных закономерностях формирования и развития СКП в аградационную фазу.

Количественные показатели, по которым проводится дальнейшая детализация процесса формирования СМП, те же, что и в классификации сезонного промерзания и протаивания пород [Втюрин, Втюрина, 1980], хотя значения их преимущественно иные. Но сроки начала этого процесса, его фактическая и даже календарная длительность, скорость и глубина проявления к настоящему времени еще слабо изучены. Особенно мало данных о полигенетическом формировании СМП, как монохронном, так и полихронном.

Для построения классификации процесса формирования СМП с учетом его количественных показателей необходимо знание их средних многолетних значений ($\bar{t}_{\text{н}}^{\Phi}$, $\bar{\tau}_{\text{пр}}^{\Phi}$, \bar{V}_{Φ} , \bar{h}_{Φ}) и среднего квадратического отклонения (σ) их частных значений от среднего. Для этого необходимы ряды данных, не менее чем 30-летние, которых пока мало. Поэтому мы ограничимся схемой классификации формирования СМП по количественным показателям, заменив конкретное значение каждого из них в любой из

Рис. 9. Классификация процесса формирования СМП

$t_{\text{н}}^{\Phi}$, $\tau_{\text{к}}^{\Phi}$, V_{Φ} , h_{Φ} — частные и $\bar{t}_{\text{н}}^{\Phi}$, $\bar{\tau}_{\text{к}}^{\Phi}$, \bar{V}_{Φ} , \bar{h}_{Φ} — средние многолетние значения начала, длительности периода проявления, скорости, глубины проявления; σ — среднее квадратическое отклонение частных значений от среднего

Таблица 4

Региональный вариант классификации процесса формирования СМП Ханкайской равнины

Градации		Гидрометеостанции	
		Новосельское	Спасск-Дальний
По дате начала	1. Очень позднее	$t_H^\Phi > 14.XI$	$t_H^\Phi > 16.XI$
	2. Позднее	$12.XI < t_H^\Phi \leq 14.XI$	$13.XI < t_H^\Phi \leq 16.XI$
	3. Среднее	$8.XI < t_H^\Phi \leq 12.XI$	$7.XI < t_H^\Phi \leq 13.XI$
	4. Раннее	$6.XI < t_H^\Phi < 8.XI$	$3.XI < t_H^\Phi < 7.XI$
	5. Очень раннее	$t_H^\Phi < 6.XI$	$t_H^\Phi < 3.XI$
По длительности, дни	1. Очень короткое	$\tau_{пр}^\Phi < 75$	$\tau_{пр}^\Phi < 67$
	2. Короткое	$75 \leq \tau_{пр}^\Phi < 80$	$67 \leq \tau_{пр}^\Phi < 74$
	3. Среднее	$80 \leq \tau_{пр}^\Phi \leq 92$	$74 \leq \tau_{пр}^\Phi \leq 86$
	4. Длительное	$92 < \tau_{пр}^\Phi \leq 97$	$86 < \tau_{пр}^\Phi \leq 92$
	5. Очень длительное	$\tau_{пр}^\Phi > 97$	$\tau_{пр}^\Phi > 92$
По скорости, см/сут	1. Очень медленное	$V_\Phi < 1,24$	$V_\Phi < 1,24$
	2. Медленное	$1,24 \leq V_\Phi < 1,30$	$1,24 \leq V_\Phi < 1,35$
	3. Среднее	$1,30 \leq V_\Phi \leq 1,42$	$1,35 \leq V_\Phi \leq 1,55$
	4. Быстрое	$1,42 < V_\Phi \leq 1,48$	$1,55 < V_\Phi \leq 1,66$
	5. Очень быстрое	$V_\Phi > 1,48$	$V_\Phi > 1,66$
По глубине, см	1. Очень мелкое	$h_\Phi < 95$	$h_\Phi < 84$
	2. Мелкое	$95 \leq h_\Phi < 105$	$84 \leq h_\Phi < 97$
	3. Среднее	$105 \leq h_\Phi \leq 125$	$97 \leq h_\Phi \leq 125$
	4. Глубокое	$125 < h_\Phi \leq 135$	$125 < h_\Phi \leq 138$
	5. Очень глубокое	$h_\Phi > 135$	$h_\Phi > 138$

градаций указанием его соотношения со средним многолетним значением, выраженным условными, хотя и вполне конкретными индексами. При построении общей классификации процесса формирования СМП это необходимо, иначе она перестанет быть общей, универсальной, на основе которой можно построить любую региональную частную его классификацию. Учет конкретных значений количественных показателей неизбежно сделает классификацию этого процесса такой же частной, региональной, как и классификацию сезонного промерзания. Невозможно также формально определять количественные критерии этих показателей без опасения исказить реальную картину проявления процесса формирования СМП в том или ином регионе, районе. Один и тот же срок его начала может оказаться очень ранним или средним для одного района и очень поздним для другого. То же касается всех остальных показателей. Возможно, со временем и будут выработаны какие-то общие количественные критерии этих показателей, необходимые для выявления общих глобальных закономерностей данного процесса, но этому должно предшествовать создание серии частных его классификаций для отдельных регионов или их частей.

В качестве примера можно привести частную классификацию процесса формирования СМП в пределах Ханкайской равнины, данные о сезонном промерзании пород и мощности СМП которой обработаны нами ранее. Процесс формирования СМП здесь сравнительно простой, определяется особенностями прямого сезонного промерзания. Формирование СМП на всей Ханкайской равнине монокричное, моногенети-

Гидрометеостанции			
Халкидон	Астраханка	Жариково	Турий Рог
$t_H^\Phi > 19.XI$	$t_H^\Phi > 14.XI$	$t_H^\Phi > 14.XI$	$t_H^\Phi > 10.XI$
$15.XI < t_H^\Phi \leq 19.XI$	$12.XI < t_H^\Phi \leq 14.XI$	$12.XI < t_H^\Phi \leq 14.XI$	$8.XI < t_H^\Phi \leq 10.XI$
$9.XI \leq t_H^\Phi \leq 15.XI$	$8.XI \leq t_H^\Phi \leq 12.XI$	$8.XI \leq t_H^\Phi \leq 12.XI$	$3.XI \leq t_H^\Phi \leq 8.XI$
$5.XI \leq t_H^\Phi < 9.XI$	$6.XI \leq t_H^\Phi < 8.XI$	$6.XI \leq t_H^\Phi < 8.XI$	$1.XI \leq t_H^\Phi < 3.XI$
$t_H^\Phi < 5.XI$	$t_H^\Phi < 6.XI$	$t_H^\Phi < 6.XI$	$t_H^\Phi < 1.XI$
$\tau_{пр}^\Phi < 63$	$\tau_{пр}^\Phi < 81$	$\tau_{пр}^\Phi < 96$	$\tau_{пр}^\Phi < 110$
$63 \leq \tau_{пр}^\Phi < 69$	$81 \leq \tau_{пр}^\Phi < 84$	$96 \leq \tau_{пр}^\Phi < 100$	$110 \leq \tau_{пр}^\Phi < 114$
$69 \leq \tau_{пр}^\Phi \leq 83$	$84 \leq \tau_{пр}^\Phi \leq 92$	$100 \leq \tau_{пр}^\Phi \leq 108$	$114 \leq \tau_{пр}^\Phi \leq 124$
$83 < \tau_{пр}^\Phi \leq 99$	$92 < \tau_{пр}^\Phi \leq 95$	$108 < \tau_{пр}^\Phi \leq 112$	$124 < \tau_{пр}^\Phi \leq 128$
$\tau_{пр}^\Phi > 99$	$\tau_{пр}^\Phi > 95$	$\tau_{пр}^\Phi > 112$	$\tau_{пр}^\Phi > 128$
$V_\Phi < 1,28$	$V_\Phi < 1,49$	$V_\Phi < 1,31$	$V_\Phi < 1,58$
$1,28 \leq V_\Phi < 1,34$	$1,49 \leq V_\Phi < 1,60$	$1,31 \leq V_\Phi < 1,38$	$1,58 \leq V_\Phi < 1,67$
$1,34 \leq V_\Phi \leq 1,48$	$1,60 \leq V_\Phi \leq 1,84$	$1,38 \leq V_\Phi \leq 1,54$	$1,67 \leq V_\Phi \leq 1,85$
$1,48 < V_\Phi \leq 1,54$	$1,84 < V_\Phi \leq 1,95$	$1,54 < V_\Phi \leq 1,61$	$1,85 < V_\Phi \leq 1,94$
$V_\Phi > 1,54$	$V_\Phi > 1,95$	$V_\Phi > 1,61$	$V_\Phi > 1,94$
$h_\Phi < 81$	$h_\Phi < 130$	$h_\Phi < 131$	$h_\Phi < 185$
$81 \leq h_\Phi < 93$	$130 \leq h_\Phi < 141$	$131 \leq h_\Phi < 141$	$185 \leq h_\Phi < 194$
$93 \leq h_\Phi \leq 117$	$141 \leq h_\Phi \leq 163$	$141 \leq h_\Phi \leq 163$	$194 \leq h_\Phi \leq 214$
$117 < h_\Phi \leq 129$	$163 < h_\Phi \leq 174$	$163 < h_\Phi \leq 173$	$214 < h_\Phi \leq 223$
$h_\Phi > 129$	$h_\Phi > 174$	$h_\Phi > 173$	$h_\Phi > 223$

ческое, прямое. Дифференцируется оно здесь только по количественным показателям. По каждому из них процесс можно разделить на пять градаций с определенными количественными критериями. В результате получаем региональный вариант классификации монокричного моногенетического прямого формирования СМП по количественным показателям (табл. 4).

При характеристике процесса формирования СМП также возможно применение балльной системы, если каждой градации каждого количественного показателя присвоить балл, равный ее порядковому номеру в общей классификации, т.е. от 1 до 5. Тогда характеристику этого процесса на Ханкайской равнине за многолетний период можно дать в виде лаконичной цифровой (балльной) таблицы, а частоты баллов позволяют судить о преобладающих градациях каждого количественного показателя (табл. 5). Конечно, формирование СМП Ханкайской равнины наиболее простое. Такое оно на всей территории области СМП, где нет возвратного промерзания и где в формировании СМП не участвует остаточный мерзлый горизонт. В остальной, в основном более северной ее части доминирует преимущественно полихронное полигенетическое формирование СМП, классификация которого по количественным показателям много сложнее, поскольку требует сопряженного учета особенностей прямого и возвратного сезонного промерзания.

Применение общей многоступенчатой классификации процесса формирования СМП, построенной с учетом его основных качественных и количественных показателей,

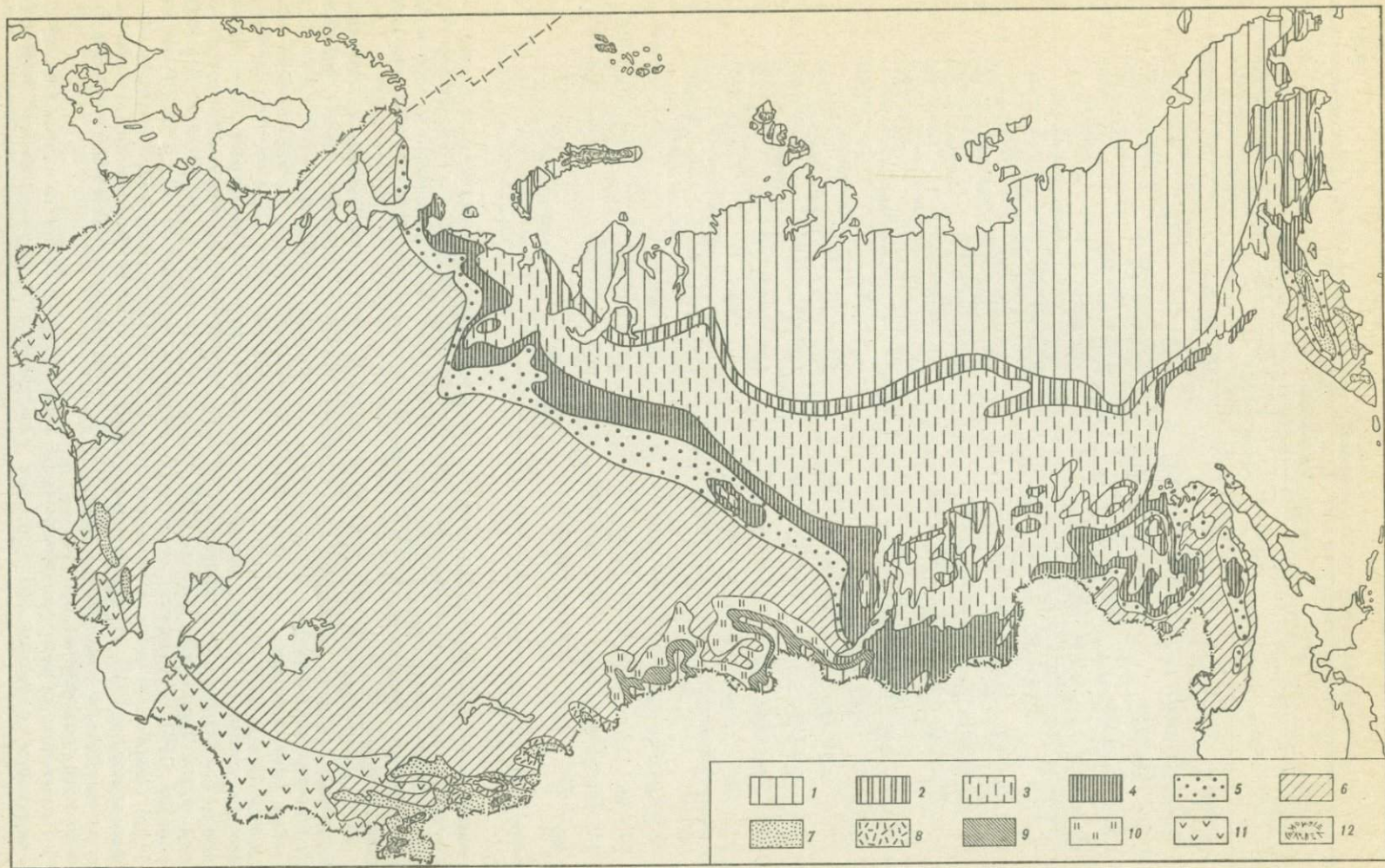


Таблица 5

Характеристика процесса формирования СМП Ханкайской равнины за 15 зим в баллах (первая цифра — балл по началу процесса; вторая — по длительности, дни; третья — по скорости, см/сут; четвертая — по глубине проявления, см)

Зимы	Новосельское	Спасск-Дальний	Халкидон	Астраханка	Жариково	Турий Рог
1962/63	3131	3353	3333	1523	4131	1323
1963/64	3111	1333	1211	3211	2111	2311
1964/65	1323	1433	2232	1423	3423	4524
1965/66	4323	4212	5132	3332	3333	3334
1966/67	4535	1535	3445	3445	3344	3433
1967/68	3313	3323	3142	4232	3143	3312
1968/69	3535	3535	1455	1333	1545	2345
1969/70	3423	5433	3333	3322	3333	1333
1970/71	2355	3455	3434	3455	3355	1343
1971/72	1131	4322	4323	5221	2222	3131
1972/73	3233	5211	4232	5333	3311	5333
1973/74	3435	3333	3433	3345	3433	4433
1974/75	5232	3232	4323	3534	5434	4243
1975/76	3253	1254	3354	2153	2354	3153
1976/77	5434	3131	1111	5333	5211	5355
Частоты баллов						
1	2323	4122	3322	3112	1334	3222
2	1331	0423	1324	1343	3221	2121
3	8486	7586	7575	7666	8655	5968
4	2301	2301	3422	1321	1333	3232
5	2224	2233	1022	3223	2122	2122

позволит, с одной стороны, систематизировать знания об этом процессе, более четко показать его особенности на той или иной территории, с другой — разработать более совершенную методику изучения этих пород. На основе данной классификации может быть создана любая региональная классификация процесса формирования СМП. Для этого достаточно исключить качественные градации, не характерные для данной территории, и рассчитать свойственные ей критические значения количественных показателей. Изучение и характеристика процесса формирования СМП в соответствии с предложенной нами классификацией позволяет получить и передать весьма полную информацию об этом процессе в любом районе области СМП.

ЗОНАЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СЕЗОННОМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Систематика процесса формирования СМП и знание условий, необходимых для проявления определенных его градаций, дают возможность рассмотреть некоторые общие закономерности этого процесса. Не вызывает сомнения, что это зональный литокриогенный процесс, подчиняющийся закону широтной зональности и высотной поясности. С продвижением к северу от южной границы области СМП процесс формирования СМП усложняется. В горных районах то же наблюдается с возрастанием высоты места при океаническом типе геокриологической поясности и в верхнем поясе

Рис. 11. Карта-схема формирования СМП. Составила Е.А. Втюрина

1—3 — систематическое слитное полихронное полигенетическое: 1 — метакрионное возвратно-упреждающее, 2 — синхронное, 3 — метакрионное прямоупреждающее; 4—5 — несистематическое частое: 4 — полихронное, преимущественно слитное, реже разобранное моногенетическое, у северной границы чаще слитное полигенетическое прямоупреждающее, 5 — монохронное, реже полихронное слитное и разобранное моногенетическое; 6 — систематическое монохронное моногенетическое; 7—10 — сочетания: 7 — несистематического частого полихронного, преимущественно моногенетического и всех типов систематического полихронного полигенетического, меняющихся с высотой, 8 — систематического и несистематического частого монохронного моногенетического, меняющихся с высотой, 9 — метакрионного прямоупреждающего и синхронного систематического полихронного слитного полигенетического, меняющихся с высотой, 10 — моно- и полихронного моно- и полигенетического прямоупреждающего, меняющихся с высотой; 11 — несистематическое монохронное слитное моногенетическое, 12 — ледники

гор — при континентальном. В последнем случае в нижнем поясе гор, наоборот, с высотой этот процесс становится более простым. Это только общие закономерности изменения формирования СМП в пространстве, поскольку не всякое изменение географической широты и высоты места обуславливает усложнение или упрощение этого ЛКП.

По особенностям проявления процесса формирования СМП область их распространения можно разделить на три зоны: 1) северную, 2) среднюю и 3) южную (рис. 11).

Северная зона ограничена с юга геоизотермой -1°C и является зоной преимущественно систематического полихронного формирования СМП. Геоизотермы -4 и -5°C разделяют ее на три подзоны. К северу от геоизотермы -5° располагается подзона преимущественно полигенетического метакронно-возвратного и сложного метакронного возвратноупреждающего формирования СМП. На отдельных участках возможно очень сложное их формирование, особенно при антропогенном воздействии. Вторая подзона северной зоны ограничена геоизотермами -5 и -4°C . В ней доминирует полигенетическое синхронно-возвратное и сложное синхронное формирование СМП с отдельными участками очень сложного их формирования. Третья, между геоизотермами -4 и -1°C , является подзоной преимущественно полигенетического метакронно-возвратного и сложного метакронного прямоупреждающего формирования СМП. Возможны и очень сложные градации этого процесса.

В средней зоне, ограниченной геоизотермами $\pm 1^{\circ}\text{C}$, доминирует периодическое как монохронное (южная подзона), так и полихронное (северная подзона) прямое формирование СМП.

В южной зоне формирование СМП только монохронное прямое. Эту зону можно разделить на две подзоны: 1) северную систематического и 2) южную периодического проявления данного процесса. Граница между ними проводится нами ориентировочно в соответствии с южной границей систематического сезонного промерзания пород, указанной И.Я. Барановым. На карте-схеме (см. рис. 11) нами показаны лишь наиболее характерные для зон и подзон особенности формирования СМП. Но чем севернее зона и подзона, тем многообразнее в ней этот процесс: наряду с зональными его классами или типами встречаются участки, формирование СМП на которых аналогично какой-либо из более южных или северных зон и подзон.

Наиболее сложная картина наблюдается в горных районах, где на широтную зональность этого процесса накладываются особенности высотной поясности. В итоге сложность формирования СМП здесь и качественные изменения этого процесса с возрастанием высоты места определяются как его зональными особенностями, так и типом и подтипом высотной поясности. Если в пределах горной страны при любом типе и подтипе поясности от подножий гор до их вершины температура пород не выходит за пределы критической для процесса формирования СМП, т.е. диапазон ее изменений составляет от $0,5$ до 0° ; от 0 до $-0,5^{\circ}$; от $-0,5$ до -4° ; от -4 до -5° или везде ниже -5° или выше $0,5^{\circ}$, качественных изменений процесса формирования СМП наблюдаться не будет. Высотная поясность его качественных показателей проявляется лишь тогда, когда диапазон изменения температуры пород превышает критический для каждой качественной градации этого процесса. Наиболее сложна высотная поясность процесса формирования СМП в районах с континентальным типом, особенно с разобленным низинно-вершинным подтипом геокриологической поясности [Втюрина, 1970]. Однако до сих пор нет достаточно детальных карт температуры пород в горных районах, чтобы на каком-либо конкретном районе показать закономерности высотной поясности этого процесса.

На составленной нами карте-схеме формирования СМП в пределах СССР (см. рис. 11) для горных районов показан в основном комплекс качественных градаций процесса и последовательность их смены с высотой, свойственная каждой из них, без территориального разграничения на пояса по этому признаку. Эта карта-схема в дальнейшем неизбежно будет уточняться по мере накопления фактических данных.

Таковы основные особенности и закономерности пространственных изменений процесса формирования аградационной фазы СКП. Его многообразное проявление на земном шаре приводит к возникновению не менее многообразных по качественным и количественным особенностям сезонномерзлых горных пород.

ОСОБЕННОСТИ АГРАДАЦИОННОЙ ФАЗЫ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД

Сложный своеобразный процесс формирования аградационной фазы СКП приводит к возникновению специфического литокриогенного образования — сезонномерзлых горных пород.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЕЗОННОМЕРЗЛЫХ ПОРОД

СМП распространены на Земле значительно шире, чем ММП, они встречаются в любой зоне от полюсов до экватора. В полярных и умеренных зонах они практически повсеместны, а в тропиках и субтропиках характерны только для части высокогорий, встречаясь на все более высоких отметках по мере приближения к экватору. В 1959 г. И.Я. Барановым составлена "Карта криогенных областей Земли", на которой показаны: 1) область ММП и ледяных покровов; 2) зона систематического промерзания почвы и 3) зона кратковременного и несистематического промерзания почвы. Она дает представление об общем распространении СМП на Земле, поскольку область ММП — одновременно и часть области СМП, как и часть зоны с несистематическим промерзанием. Это позволяет легко преобразовать эту карту в карту распространения СМП (рис. 12). Участки распространения с поверхности мономинеральных ледяных и снежных пород отнесены нами к участкам без СМП, за исключением случаев, когда они перекрыты хотя бы небольшим слоем обломочного материала, подвергающегося сезонному промерзанию и протаиванию.

Можно проследить следующие общие закономерности распространения СМП на Земле. Они отсутствуют в околополюсных областях Земли, в областях питания горных ледников на любых широтах, в районах многолетних снежников, ледников, не перекрытых слоем обломочного материала и препятствующих проявлению сезонного цикла промерзания и протаивания пород под ними.

Глобальные особенности распространения СМП были рассмотрены И.Я. Барановым [Основы геокриологии, 1959]. В целом можно сказать, что преобладание "моря над сушей" на Земле и асимметричное по отношению к экватору расположение материков и островов обуславливает, во-первых, прерывистое и островное распространение СМП на земном шаре, во-вторых, большее распространение их в северном полушарии, чем в южном.

В пределах каждого материка характер распространения СМП не остается постоянным. Это четко видно на примере СССР, огромная территория которого позволяет проследить почти всю гамму его типов и подтипов. Обычно характер распространения СМП, как и ММП, определяется по соотношению занятой ими площади и общей площади исследуемой территории. Существует несколько классификаций ММП по этому показателю, вполне применимых и к СМП.

Одна из первых предложена М.И. Сумгиным. Им выделены: 1) районы географически сплошной вечной мерзлоты; 2) районы, в пределах которых обширные пространства с вечномерзлыми грунтами пронизаны либо на более или менее значительном протяжении расчленены таликами; 3) острова вечномерзлых грунтов; 4) участки с вечномерзлыми грунтами на глубине, превосходящей глубину залегания сезонной мерзлоты; 5) районы с вечной мерзлотой только в буграх торфяных болот и 6) острова и районы островов с вечномерзлыми грунтами вдали от общего массива [Общее мерзлотоведение, 1940, с. 94, 96]. Позднее эта классификация была несколько усовершенствована. Вместо шести стали пользоваться пятью градациями мерзлых пород по характеру их распространения: 1) географически сплошного распространения, 2) сплошного с редкими островами таликов, 3) сплошного с частыми островами таликов, 4) часто островного и 5) редкоостровного. Однако четких количественных критериев этих градаций также не было установлено. Попытка предложить такие критерии была предпринята нами в 1967 г.

Несколько иная классификация предложена Н.Н. Романовским [Методика..., 1970]. Им выделены четыре градации: два вида островного, прерывистое и сплошное распространение и дана количественная оценка каждой из них.

Нередко дается деление мерзлых пород на три градации: 1) сплошного, 2) пре-

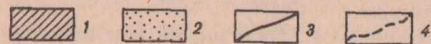
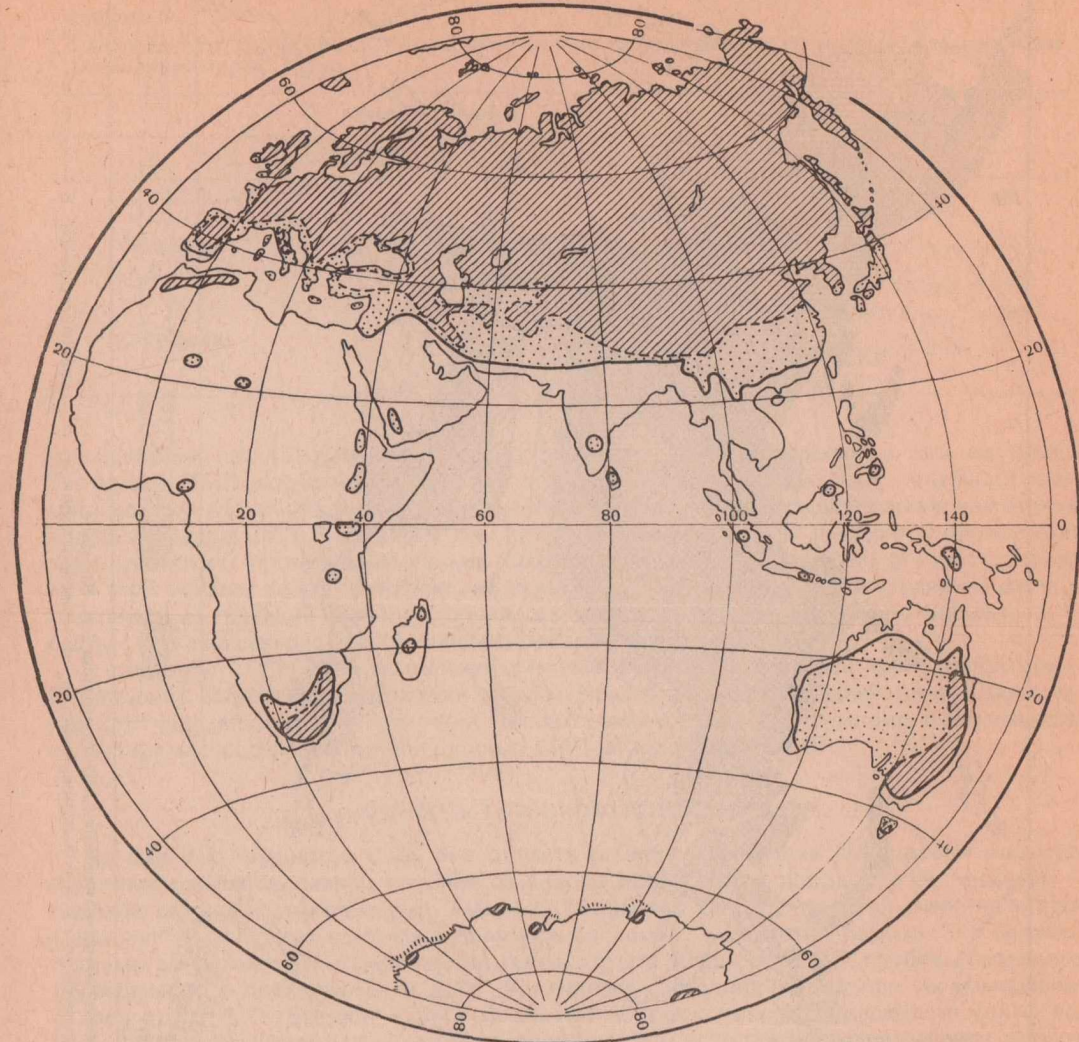


Рис. 12. Карта-схема распространения СМП на земном шаре. Составлена на основе "Карты криогенных областей Земли" И.Я. Баранова (Основы геоэкологии..., 1959) с уточнениями
1 — систематические СМП; 2 — несистематические СМП; 3 — граница СМП; 4 — граница систематических СМП

рывистого и 3) островного распространения, без единых количественных критериев каждой из них.

В настоящее время применяется любая из этих классификаций, хотя по отношению к ММП стали все чаще пользоваться последней. Прерывистость СМП больше, чем ММП, поэтому целесообразно учитывать пять градаций их распространения, чтобы разобраться в основных закономерностях изменения этого показателя.

Предлагаемая нами классификация СМП по характеру распространения в известной мере является развитием классификации М.И. Сумгина. Она двухступенчатая: два таксона I ранга выделены в зависимости от того, больше или меньше 50% площади занимают СМП. В первом случае распространение считается сплошным, во втором — островным. Таксоны II ранга применительно к сплошному распространению СМП выделены с учетом их прерывистости, т.е. отношения суммарной площади СМП или СКП к



общей площади исследуемой территории. В нашем варианте классификации четко оговорены количественные критерии каждой градации и заменены слишком длинные названия подтипов сплошного распространения СМП (сплошное с редкими островами талых и немерзлых пород и сплошное с частыми островами немерзлых и талых пород) на более короткие без ущерба смыслу (табл. 6). По существу, это классификация не только аградационной, но и деградационной фазы СКП, а следовательно, и СКП в целом по характеру их распространения. Она применима также для оценки распространения разных генетических градаций СМП, СТП и СКП: монохронных и полихронных, моно- и полигенетических и т.д., а также МКП и фаз их развития (ММП и МТП).

Характер распространения СМП на земном шаре не остается постоянным даже в течение коротких периодов времени, особенно в южной части их области. Здесь СМП формируются не ежегодно, что обуславливает наиболее существенную динамику общей площади их распространения. В области систематических СМП, формирующихся ежегодно, колебание от года к году погодных условий также вызывает изменения общей площади СМП, хотя и не столь значительные, как в зоне периодических СМП: увеличение или уменьшение их прерывистости, площади их островов, появление и увеличение участков периодических СМП наряду с систематическими. В целом временная

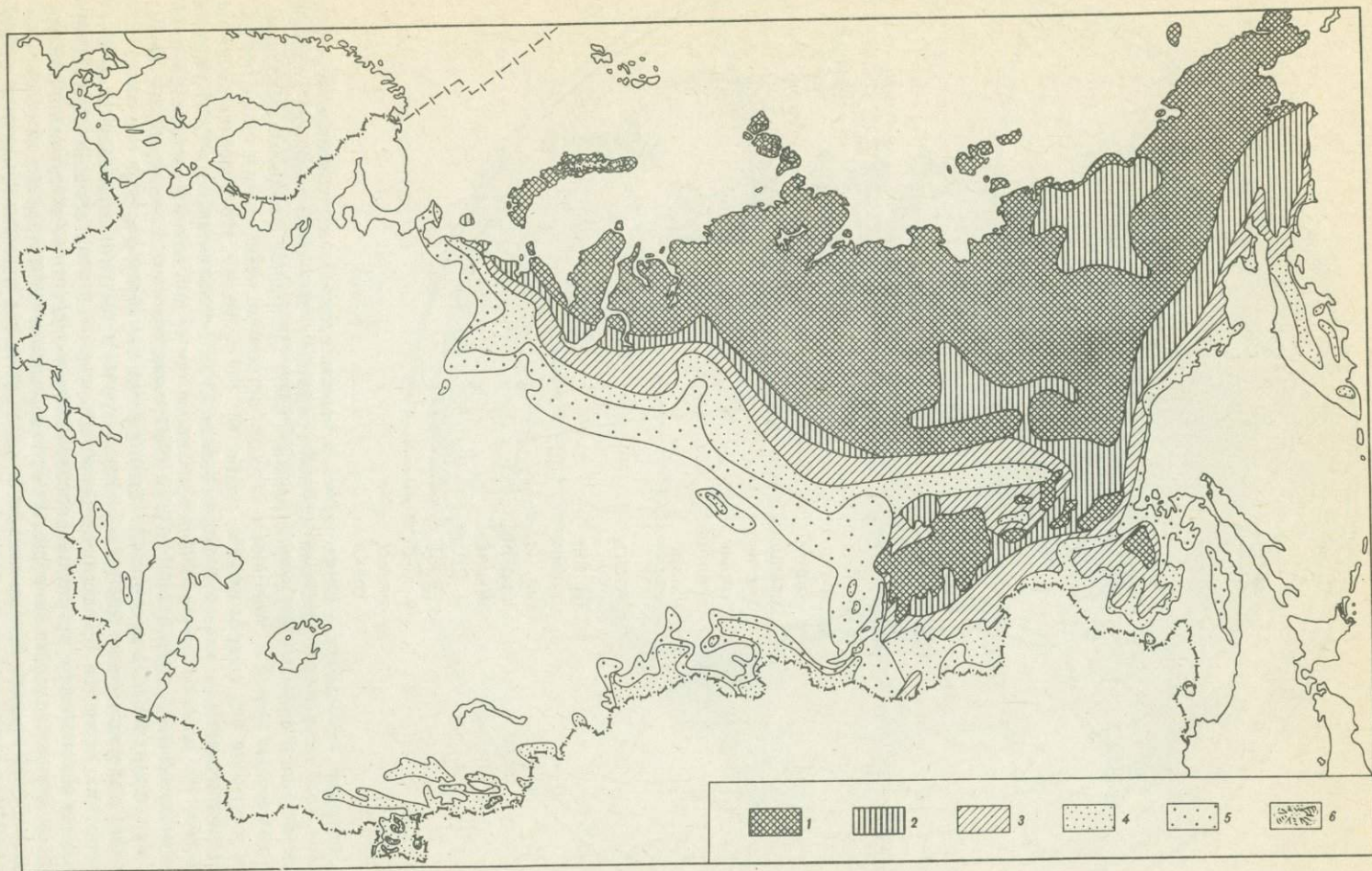


Рис. 13. Карта-схема распространения полигенетических СМП. Составила Е.А. Втюрина
 1 — сплошное; 2 — слабопрерывистое; 3 — сильнопрерывистое; 4 — частоостровное; 5 — редкоостровное. 6 — ледники

Таблица 6

Классификация СКП (СМП, СТП) по характеру их распространения, % от общей площади исследуемой территории

Распространение		Критерий
Тип	Подтип	
Сплошное	Сплошное	$S_{СКП} > 90\%$
	Слабопрерывистое	$90\% \geq S_{СКП} > 75\%$
	Сильнопрерывистое	$75\% \geq S_{СКП} \geq 50\%$
Островное	Частоостровное	$50\% > S_{СКП} \geq 25\%$
	Редкоостровное	$S_{СКП} < 25\%$

устойчивость пространственного распространения СМП возрастает с юга на север. В области ММП практически никакие природные короткопериодные колебания климатических условий не в состоянии вызвать сколько-нибудь существенные изменения общей площади СМП, поскольку они даже локально не могут исключить проявления здесь сезонного промерзания пород. Сплошное и слабопрерывистое распространение их в этой области весьма устойчиво во времени. То же касается распространения разных генетических градаций СМП: устойчивость площади каждой из них во времени возрастает с юга на север, с возрастанием суровости природных условий.

В пределах СССР СМП — явление систематическое на большей части территории. Исключения составляют некоторые районы Крыма, Кавказа, Средней Азии, Сахалина, где СМП формируются не ежегодно. На карте-схеме (рис. 13) четко видна зональность характера распространения полихронных СМП на территории СССР.

МОЩНОСТЬ СЕЗОННОМЕРЗЛЫХ ПОРОД

До сих пор мощность СМП вне области близко залегающих ММП всеми исследователями считается равной глубине сезонного промерзания пород, а в ее пределах — глубине сезонного протаивания. Однако "мощность СМП", "глубина сезонного промерзания" и "глубина сезонного протаивания пород" — понятия разные. Это связано с двумя причинами: 1) с различиями точек отсчета мощности СМП, глубины сезонного промерзания и протаивания и 2) с различиями состояния пород при их измерении. В свое время Г.П. Бредюк (1966) поднял вопрос о том, от поверхности каких пород — талых или мерзлых — измерять глубину сезонного промерзания, но этот вопрос не привлек должного внимания исследователей, хотя очевидно, что нельзя точно измерить их величину, если неясна точка отсчета. Столь же важен второй вопрос: о состоянии пород при измерении как глубины сезонного промерзания и протаивания, так и мощности СМП и СТП. Оба они не решены до сих пор. На наш взгляд, ответы на них однозначны. Действительно, промерзают за зиму талые породы, а протаивают за лето мерзлые породы. Отсюда точкой отсчета глубины сезонного промерзания может быть только дневная, верхняя поверхность талых пород, полностью протаявших за теплый период одного года, а глубина сезонного протаивания — та же поверхность мерзлых пород, полностью промерзших за холодный период одного года. Мощность СМП, в отличие от глубины сезонного промерзания, отсчитывается от верхней поверхности мерзлых пород, а СТП — от той же поверхности талых пород, а не мерзлых, как глубина сезонного протаивания.

Следовательно, то, что в настоящее время называют глубиной сезонного протаивания пород в области ММП, в действительности мощность СТП и возможная в следующий холодный период года глубина сезонного промерзания пород. Вне области близко залегающих ММП величина, называемая сейчас глубиной сезонного промерзания пород, в действительности мощность СМП и возможная в следующий теплый период года глубина сезонного протаивания мерзлых пород.

В любом районе мощность монохронных СМП превышает глубину сезонного про-

мерзания пород на величину их криогенного пучения. Эта разница тем больше, чем больше льдистость пород, особенно за счет сегрегационного льда. Все имеющиеся к настоящему времени сведения о "глубине сезонного промерзания пород" и скорости этого процесса в южной зоне СКП, южнее геоизотермы $+0,5^{\circ}\text{C}$, и на участках монохронного формирования СМП севернее нее, по-существу, являются сведениями о мощности СМП и скорости их формирования. К северу от геоизотермы $+0,5^{\circ}\text{C}$, где формирование СМП не только монохронное, но и полихронное при постепенном возрастании роли последнего, разница между глубиной сезонного промерзания и мощностью СМП все больше возрастает не только из-за увеличения льдистости и пучения промерзающих пород, но также из-за участия остаточного мерзлого горизонта в формировании СМП. Мощность полихронных СМП определяется суммарной величиной глубины сезонного промерзания и пучения пород за данную зиму и мощности остаточного мерзлого горизонта.

Мощность остаточного мерзлого горизонта СМП изменяется практически ежегодно, но ее изменение обуславливается ежегодными подвижками верхней, а не нижней границы этого горизонта. Мощность же СМП определяется положением его нижней границы, динамика которой отличается от временной динамики глубины сезонного протаивания и мощности остаточного мерзлого горизонта. Положение нижней границы этого горизонта, а следовательно, и полихронных СМП в целом меняется один раз за репрезентивный период: при изменении за этот период максимального значения глубины сезонного протаивания мерзлых пород, что вызывает смещение нижней границы остаточного горизонта СМП.

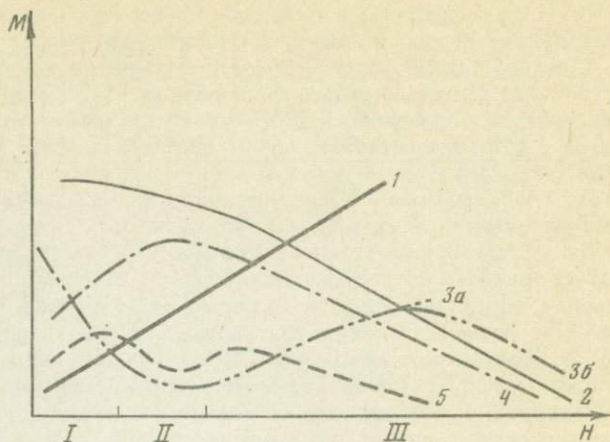
Таким образом, мощность полихронных СМП в области близко залегающих ММП — величина, устойчивая во времени, меняющаяся один раз за 30 лет. Глубина же сезонного промерзания пород здесь меняется практически ежегодно. Лишь в южной подзоне средней зоны, ограниченной геоизотермами $+1^{\circ}$ и 0°C , возможно небольшое изменение мощности остаточного мерзлого горизонта не только вследствие подвижек его верхней поверхности, но и нижней. Теплотокот снизу при отсутствии близко залегающих ММП, как бы он ни был мал, может обусловить некоторое повышение нижней поверхности остаточного мерзлого горизонта. Следовательно, в этой подзоне мощность СМП на участках их полихронного формирования не столь устойчива во времени, как на аналогичных участках с близким залеганием ММП, но более устойчива, чем на участках монохронного их формирования.

Отсюда можно сделать вывод, что понятие "мощность СМП" неодинаково определяется для генетически разных СМП. Мощность монохронных СМП — это мощность верхнего горизонта мерзлых пород, ограниченного в любой год дневной поверхностью и глубиной их сезонного протаивания. Численно она равна сумме глубины сезонного промерзания талых пород и высоты их пучения при этом. Мощность полихронных СМП — это мощность верхнего горизонта мерзлых пород, ограниченного дневной поверхностью этих пород и максимальной за репрезентивный период глубиной их сезонного протаивания. В любой год, кроме года с максимальной за 30 лет глубиной сезонного протаивания, мощность полихронных СМП равна суммарной величине глубины сезонного промерзания талых пород и их пучения при промерзании в данный год и мощности остаточного мерзлого горизонта. Временная устойчивость мощности СМП возрастает с юга на север, в то время как глубина сезонного промерзания пород одинаково неустойчива в любом районе, независимо от особенностей формирования СМП. Геоизотермы $+0,5$, 0 и $-0,5^{\circ}\text{C}$ — критические границы в изменении временной устойчивости только мощности СМП, но не глубины сезонного промерзания пород, хотя они и являются границами весьма существенных изменений ряда качественных и количественных показателей этого процесса.

Однако, несмотря на различия временной динамики мощности СМП и глубины сезонного промерзания пород, в целом по области СМП диапазон и пространственная направленность изменений их количественных значений сходны. Как фактическая глубина сезонного промерзания, так и мощность СМП предельных максимальных значений достигают в средней зоне, где сезонное промерзание и формирование СМП практически ничем не ограничены — ни недостатком охлаждения, ни наличием ММП на небольшой глубине. Оба процесса могут проявляться здесь на максимальную для данных природных условий глубину. По имеющимся сведениям, на территории СССР не отмечена мощность СМП грубозернистого состава, превышающая 5—6 м, глинист-

Рис. 14. Схема зависимости изменения мощности (М) СМП от типа геокриологической поясности и высоты места над уровнем моря (Н) в горных районах

Океанический тип поясности: 1 — вне области ММП, при их отсутствии в верхнем поясе; 2 — в области ММП, при наличии их во всех поясах. Континентальный тип поясности: 3 — вне области ММП (а) или при наличии их только в верхнем поясе (б); 4 — в области ММП, при их отсутствии или при более высокой температуре в среднем поясе; 5 — то же, при расположении межгорных котловин на уровне среднего пояса и наличии в них ММП. I, II, III — нижний, средний и верхний пояса гор



тых — более 3–4, а сложенных торфом — 1–1,5 м. Поскольку природные условия не остаются неизменными в области СМП, каждой ее зоне, подзоне, району свойственны свои максимальные значения мощности СМП, отличающиеся от указанных предельных.

Минимальная глубина сезонного промерзания и мощность СМП также неодинаковы в разных зонах, подзонах, районах. Предельные минимальные их значения наблюдаются в крайних южных районах и составляют всего 1–5 см. Такая мощность СМП неоднократно отмечена АГМС на юге Украины, на Сахалине и даже в Подмосковье. К северу и югу от геоизотермы 0°C наблюдается уменьшение фактической глубины сезонного промерзания и мощности СМП, причем первая из них в северном направлении убывает быстрее, чем вторая. В крайних северных районах глубина сезонного промерзания может, по имеющимся данным, составлять всего 10–15 см. Но минимальная мощность СМП здесь больше этой величины не только на высоту пучения пород при промерзании, но и на мощность остаточного мерзлого горизонта.

В горных районах общие закономерности изменения мощности СМП более сложные. Они зависят прежде всего от типа геокриологической поясности и генетического типа СМП. Мощности монохронных и полихронных СМП по-разному изменяются с высотой при одинаковом типе поясности и перепаде высот (рис. 14). В районах с океанической поясностью мощность монохронных СМП возрастает с высотой в целом так же, как на равнинах при продвижении с юга на север. Однако из-за увеличения грубозернистости пород с высотой эти изменения происходят более резко. В районах с континентальной поясностью их мощность убывает к среднему, наиболее теплomu поясу гор, если этому не препятствует изменение грансостава пород, и вновь начинает возрастать с высотой в верхнем поясе. Закономерности изменения их мощности в районах с океанической поясностью проявляются резче, чем в районах с континентальной, поскольку в первом случае они в основном усиливаются особенностями изменения грансостава пород, а во втором — затушевываются.

В области близко залегающих ММП при океаническом типе поясности мощность полихронных СМП должна закономерно убывать с высотой в связи с уменьшением максимальной за многолетний период глубины сезонного протаивания пород в этом направлении.

Мощность СМП здесь меняется, так же как при движении с юга на север на равнинных участках, но менее резко из-за смены с высотой грансостава пород. В районах с континентальной поясностью при наличии ММП во всех трех поясах мощность полихронных СМП максимальная в среднем поясе и убывает вверх и вниз от него, причем к подножиям гор более резко, чем к вершинам. Исключение составляют районы, где на уровне среднего пояса, т.е. на высоте примерно от 800–900 до 1100–1200 м, располагаются днища котловин. В этих условиях наличие в среднем поясе гор ММП приводит к уменьшению мощности полихронных СМП, отсутствие ММП — к возрастанию мощности монохронных СМП. Особенно сложная картина ее изменений создается в горных районах, где близко залегающие ММП имеются лишь в одном (верхнем или нижнем)

или в двух (верхнем и нижнем) поясах и где чередуются моно- и полихронные СМП, мощность которых по-разному меняется с высотой.

Таковы общие закономерности изменения мощности СМП. Их сложность — следствие прежде всего совершенно разных закономерностей изменения мощности монохронных и полихронных СМП при смене широты и высоты места над уровнем моря в силу различия главных причин, вызывающих эти изменения. Мощность монохронных СМП определяется в основном теплопотерями из горных пород в холодный период года, полихронных — теплоприходом в породы за теплый период года, неодинаково меняющимися со сменой широты и высоты места. Наличие этих двух генетических типов СМП с диаметрально противоположным характером изменения их мощности обуславливает своеобразную широтную зональность мощности СМП в целом: уменьшение ее как к югу, так и к северу от средней зоны, ограниченной геоизотермами $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, и очень сложную ее поясность в горных странах при общем для всех горных стран уменьшении мощности СМП в целом выше и ниже пояса, ограниченного геоизотермами $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Общие закономерности изменения мощности СМП корректируются неоднородностью природных поверхностных и грунтовых условий. Однако это лишь увеличивает местные различия мощности СМП, но редко меняет общие закономерности ее изменения в пределах всей области СМП или ее крупных регионов.

Предельные значения и качественная оценка своеобразия широтной зональности и высотной поясности мощности СМП — это практически все, что можно в настоящее время уверенно сказать об ее общих закономерностях. В этом убеждает ознакомление со значительной частью имеющихся фактических материалов о глубине сезонного промерзания и протаивания, с работами, в которых делаются попытки разобраться в закономерностях ее изменения на той или иной территории, и с картами, часто под названием глубины сезонного промерзания отражающими ее величину вне области ММП. Сведения о мощности СТС и глубине сезонного промерзания, до сих пор в области близко залегающих ММП ошибочно называемой глубиной сезонного протаивания, в том числе и показанных на картах, без знания высоты пучения пород при промерзании и мощности остаточного мерзлого горизонта не позволяют составить правильное представление о мощности СМП в ее пределах. К тому же до сих пор при построении геокриологических карт используются разовые разногодичные и разнопериодные данные о глубине проявления этого процесса, которые без специальной обработки неправомерно выносятся на карты. В названиях карт и пояснениях к ним обычно не указывается, в каком значении глубины сезонного промерзания или протаивания или мощности СМП (максимальном, минимальном, среднем) идет речь и за какой период, хотя важность таких указаний не вызывает сомнений, если при построении карт действительно учитывать временную динамику этих показателей. Правильность такой оценки большинства карт, содержащих сведения о мощности СТС и СМС, о глубине сезонного промерзания и протаивания пород подтверждается следующим.

Во-первых, практически всеми до сих пор необоснованно проводится полная аналогия между глубиной сезонного протаивания и мощностью СТС, а также между глубиной сезонного промерзания и мощностью СМС. Во-вторых, известно, что на разных АГМС и ГМС ряды наблюдений за ходом сезонного промерзания и протаивания имеют разную длительность и приведением их к ряду одной длительности никто пока не занимался. В-третьих, статистической обработкой многолетних данных о глубине сезонного промерзания и протаивания пород занимались очень немногие ученые и лишь по отдельным районам. Исключение составляют карты-схемы, построенные Е.Д. Федотовой [1965] для Среднего Поволжья и П.А. Соловьевым [1966, 1978] для Якутии с действительным учетом временной динамики мощности СМП и СТП, хотя называлась она глубиной сезонного промерзания и протаивания пород. В-четвертых, вопрос о необходимости учета остаточного мерзлого горизонта при определении мощности полихронных СМП ставится впервые. Сведений о его мощности пока нет, хотя многолетние наблюдения за ходом сезонного протаивания и мощностью СТП позволяют рассчитать ее для ряда пунктов области ММП. В-пятых, данных о величине пучения пород при сезонном промерзании и о величине их осадки при сезонном протаивании слишком мало, чтобы в области ММП по мощности СТП судить о глубине сезонного протаивания мерзлых пород, а вне ее — о глубине сезонного промерзания по мощности СМП. Можно уверенно сказать, что, несмотря на кажущееся обилие данных о глубине сезонного промерзания и протаивания пород, к настоящему времени еще нет необходи-

Таблица 7

Мощность монохронных СМП за 25—28-летний период

ГМС, АГМС	Период наблюдений		Мощность, см		
	годы	кол-во лет	сред.	макс.	мин.
Коломыя	1951—1978 (без 1960)	27	28	59	2
Немчиновка	1951—1976	26	42	116	5
Демьянское	1954—1979	26	108	163	66
Уват	1954—1979	26	108	150	41
Тобольск*	1952—1978	27	126	190	78
Тюмень	1952—1978	27	114	177	69
Омск	1951—1978	28	174	240	124
Кокпекты	1951—1977 (без 1964 и 1969)	25	90	126	36
Поярково	1951—1978	28	213	255	161
Новосельское	1953—1978	26	114	148	65
Маргаритово	1951—1978 (без 1966)	27	97	162	34
Новоалександровск	1956—1978	23	30	59	6

* По Тобольску мощность СМП на метеоплощадке с 1958 по 1967 г. и в 1970 г. рассчитана по мощности СМП в поле с озимой рожью и среднему за 8 лет соотношению мощности СМП на метеоплощадке и в поле с озимой рожью.

мых кондиционных данных о глубине сезонного протаивания в области близко залегающих ММП и о глубине сезонного промерзания вне ее для картографического отображения как их значений, так и мощности СМП на территории СССР. Благодаря работе сети АГМС и ГМС имеется большой объем кондиционных многолетних данных о сезонном протаивании, особенностях формирования и мощности монохронных СМП за пределами области ММП. После необходимой обработки они позволяют получить правильное представление о закономерностях пространственно-временных изменений мощности монохронных СМП. В табл. 7 даны значения мощности монохронных СМП по ряду пунктов СССР.

Определение условной мощности монохронных СМП по коротким рядам может привести к существенным отклонениям ее значений от действительных, а потому они по возможности должны приводиться к более длинным сравнимым рядам. Методы такого приведения в геохронологии еще не разработаны. Их можно позаимствовать из гидрологии и метеорологии. Однако при необходимости условная мощность СМП может определяться для любого по длительности периода, особенно для небольшого района. В табл. 8 приведены фактические данные об условной мощности монохронных СМП в Южном Приморье за 15-летний период. Если, к примеру, по аналогии с Новосельским, по которому имеется непрерывный 25-летний ряд наблюдений, для всех указанных пунктов Южного Приморья принять, что средняя, максимальная и минимальная величины мощности СМП за 15-летний период соответственно составляют 101, 100 и 123% от тех же значений ее за 25-летний период, то можно ориентировочно определить их величину в этих пунктах для данного более длительного периода. Конечно, это приближенные значения мощности СМП, особенно если учесть, что направленность ее изменений не во всех пунктах одинаковая. Фактические данные о мощности СМП в Спасске-Дальнем и Жарикове с 1958 г., а в Астраханке с 1953 г. позволяют в известной мере проверить результаты такого удлинения рядов данных. Так, в Спасске-Дальнем за этот период мощность СМП изменялась от 68 до 156 см, в Жарикове — от 105 до 180 см, а в Астраханке с 1953 по 1977 г., но с перерывами в ряду наблюдений — от 103 до 186 см. Как видим, расчетные максимальные значения мощности СМП не отличаются от фактических за эти периоды, а минимальные несколько меньше фактических (на 10—19 см). Правда, не исключено, что в значительной степени это отклонение связано с отсутствием сведений по ряду лет. Использование расчетных значений мощности монохронных

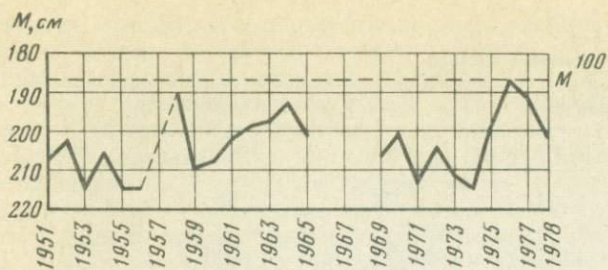


Рис. 15. Хронологический график изменения мощности СТП по данным АГМС Покровск
 M^{100} — мощность ежегодно промерзающего горизонта

СМП, приведенных к 25–30-летним рядам, для суждения о закономерностях ее изменения в том или ином районе и для практических рекомендаций более обосновано и надежно, чем случайных разовых разногодичных и короткопериодных данных.

Мощность полихронных СМП, как указывалось, весьма устойчива во времени и равна максимальной за репрезентативный период глубине сезонного протаивания пород. Это можно показать на примере АГМС Покровск Якутской АССР. Данные о мощности СТП здесь получены с 1951 по 1978 г., за исключением 1957 г. и 1966–1968 гг. В 1953, 1956, 1958 и 1965 гг. наблюдения были прерваны 20.VIII или 31.VIII, т.е. до окончания сезонного протаивания. Поэтому для этих лет мощность СТП рассчитана нами методом интенсивности. Взята средняя интенсивность формирования СТП за 1960 и 1961 гг. В результате для периода суммарной длительностью в 24 года в Покровске максимальная мощность СТП была 215 см. Следовательно, мощность СМП здесь превышала 215 см на величину пучения. Мощность верхней монохронной части их за то же время, приближенно, без учета пучения изменялась от 187 до 215 см, составляя в среднем 204 см. Мощность мерзлого остаточного горизонта изменялась от 28 см до 0 при среднем значении 11 см (рис. 15). Знание мощности остаточного горизонта на каждый год наблюдений за ходом протаивания на АГМС и ГМС и мерзлотных станциях необходимо, чтобы по разовым разногодичным экспедиционным сведениям о мощности СТП при знании величины их криогенного пучения определять мощность полихронных СМП.

Несмотря на то что мы пока не располагаем сведениями не только о действительных, но по большинству районов и об условных сравнимых значениях мощности СМП для сравнимого периода времени, а следовательно, и о закономерностях ее изменений на территории СССР, уже сейчас можно предложить принципиальную схему классификации СМП по мощности, применимую для любого района:

Градация	Критерий
Очень мощные	$M > \bar{M} + \sigma$
Мощные	$\bar{M} + \sigma \geq M > \bar{M} + 0.5\sigma$
Среднемощные	$\bar{M} + 0.5\sigma \geq M \geq \bar{M} - 0.5\sigma$
Маломощные	$\bar{M} - 0.5\sigma > M \geq \bar{M} - \sigma$
Очень маломощные	$M < \bar{M} - \sigma$

Критические значения мощности СМП заменены условными индексами: M — мощность монохронных СМП в данном году или полихронных СМП в данном пункте; \bar{M} — средняя мощность монохронных СМП за многолетний период или полихронных СМП по району исследований; σ — среднее квадратическое отклонение M от \bar{M} . Это позволяет применять данную схему при изучении: 1) мощности СМП любого района, 2) не только СМП, но и СТП и СКП в целом, 3) временной динамики мощности монохронных СМП, 4) пространственной динамики мощности моно- и полихронных СМП. Нами показано практически максимальное возможное количество градаций этого показателя, имеющих самостоятельные названия. Но можно пользоваться делением на три градации: мощные ($M > \bar{M} + \sigma$), средние ($\bar{M} + \sigma \geq M \geq \bar{M} - \sigma$) и маломощные ($M < \bar{M} - \sigma$). Это зависит от объема данных, вариации M , целей классификации СМП по мощности.

При изучении полихронных СМП (или СТП) применение данной классификации позволяет выявить только особенности пространственного изменения их мощности, поскольку во времени ее величина очень устойчива. В этом случае \bar{M} — среднее для исследуемой территории значение мощности полихронных СМП (или СТП), σ — среднее квадратическое отклонение ее величины в разных пунктах и районах от \bar{M} . При изуче-

Таблица 8

Условная мощность монохронных СМП в Южном Приморье, см

ГМС, АГМС	Фактическая за 1962—1977 гг.			Приведенная за 1953—1977 гг.		
	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.
Новосельское	115	148	80	114*	148*	65*
Хороль	126	149	90	125	149	73
Халкидон	107	152	76	106	152	62
Спасск-Дальний	114	156	68	113	156	55
Астраханка	150	186	103	149	186	84
Жариково	153	180	117	152	180	95
Турий Рог	201	226	172	199	226	140

* Фактически наблюдаемая величина.

нии мощности монохронных СМП (или СТП), меняющейся почти ежегодно, данная классификация позволяет выявить не только варьирование в пространстве ее средних и экстремальных значений, но и детально разобраться в особенностях временной ее динамики в каждом пункте или районе. В последнем случае \bar{M} — средняя многолетняя мощность СМП (или СТП) в данном пункте, а σ — среднее квадратическое отклонение ее значений за каждый год от \bar{M} .

Таким образом, в зависимости от цели применения классификации СМП по мощности — для выявления пространственных или временных ее изменений — критерии градаций рассчитываются по-разному. Очевидно, что для получения их необходимы инвентаризация имеющихся данных о глубине сезонного промерзания и протаивания пород и их правильная статистическая обработка.

КРИОГЕННОЕ СТРОЕНИЕ СЕЗОННОМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Основные особенности СМП, определяющие специфику всех их свойства, заключаются: 1) в образовании и наличии в них различных генетических типов подземных льдов, делающих СМП более сложной, более многофазной системой, чем СТП; 2) в многообразии их криогенной текстуры, 3) в неоднородности криогенного сложения СМП, обуславливающих варьирование свойств СМП в их профиле даже при одинаковом гранулометрическом составе и предзимней влажности пород. В совокупности они определяют криогенное строение СМП.

В 1970 и 1974 гг. на основе анализа большого объема литературных данных и многолетних собственных исследований нами были рассмотрены особенности льдообразования в промерзающих и мерзлых породах [Втюрина, Втюрин, 1970] и закономерности криогенного строения верхней части полихронных и монохронных СКП в области ММП [Втюрина, 1974б]. Изложенные представления в настоящее время признаны мерзлововедами. Поэтому в данной монографии мы остановимся только на том принципиально новом, что вносит в трактовку этих проблем изменение критерия основных градаций мерзлых пород, введение понятия "сезоннокриогенные породы" и исследования последних лет.

Льдообразование и подземные льды

Льдообразование в горных породах — литокриогенный процесс, объединяющий группу разных по механизму процессов. В 1970 г. автором и Б.И. Втюриным были рассмотрены его основные особенности, зависимость от ряда природных факторов: состава и плотности рыхлых пород, их предзимней влажности, скорости промерзания и ее динамики, направленности промерзания и т.д. Закономерности проявления этого процесса, установленные нами на основе обобщения имеющихся прямых, а чаще косвенных данных и собственных многолетних наблюдений, позднее были подтверждены экспериментально [Ершов, 1979; Жесткова, 1982; и др.]. Общая классификация льдообразования в горных породах, предложенная нами в 1970 г., до сих пор остается единственной.

Вариант ее, приведенный в данной работе (рис. 16, см. вкл.), несколько усложнен учетом количественных показателей этого ЛКП: время начала данного процесса t_n , период его фактического проявления $\tau_{пр}$, скорость V и его интенсивность i .

Каждый из этих четырех рангов подразделяется на три или пять градаций, ограниченных определенными количественными критериями. Количество градаций определяется прежде всего целями изучения данного ЛКП и требованиями к его детальности. Нами дан максимальный вариант классификации льдообразования в горных породах, позволяющий составить представление не только о глобальных качественных закономерностях его проявления, но и о локальных особенностях в пределах любой по размерам территории.

Правда, мы еще очень мало знаем о количественных показателях льдообразования. Почти нет данных о времени начала, окончания и длительности периода проявления любого типа этого процесса в горных породах, временной и пространственной динамике этих показателей. Начало и окончание льдообразования и сезонного промерзания пород не всегда совпадают. Нет сведений о скорости разных типов льдообразования и ее варьировании. До настоящего времени не ставилось даже вопроса об их изучении, а оценка их, хотя бы сравнительная, по косвенным признакам не всегда возможна. Некоторые данные имеются лишь по интенсивности льдообразования. По существу, это льдистость пород, дифференцированная по генетическим типам подземного льда. При полевых работах обычно определяется средняя по СМП или средняя по их отдельным горизонтам с разной криотекстурой суммарная льдистость \bar{i}_c пород или только шлировая их льдистость $i_{ш}$ по соответствующим методикам.

Знание естественной влажности СМП (W_e) или их отдельных горизонтов, содержания в них незамерзшей воды (W_n), а при расчете $i_{ш}$ также влажности минеральных прослоек и агрегатов или хотя бы максимальной молекулярной влагоемкости (ММВ) позволяет сравнительно легко разделить льдистость за счет льда-цемента (цементная), сегрегационного, доминирующего в СМП, и атакситового льда. Льдистость за счет залежеобразующих подземных льдов учитывается как макрольдистость [Втюрин, 1967б, 1975]. Чем больше цементная, шлировая и макрольдистость пород, тем интенсивнее проявление в них того процесса льдообразования, который обуславливает каждый из этих видов льдистости. К настоящему времени имеется довольно много данных по W_e СМП и ММВ, а для определения W_n построены графики и таблицы, показывающие ее зависимость от состава и температуры пород.

Однако, несмотря на кажущееся обилие этих данных, льдистость СМП еще слабо изучена. Причина этого не только в недоучете полихронности формирования СМП в северных районах, хотя и это немаловажно. Основных причин, на наш взгляд, две. Первая — отсутствие единой методики определения W_e , вследствие чего имеющиеся данные не всегда сравнимы между собой. Вторая причина — не всегда правильная обработка полученных данных. Надежные данные о средней величине i_c СМП дает метод борозды. Но чаще применяется метод точечного отбора проб из скважин и шурфов через определенный интервал (0,5 реже 0,1 м) или из горизонтов разного состава с разной криотекстурой без выдержанного интервала, преимущественно без повторности. Средняя влажность, а по разности между нею и содержанием незамерзшей воды и средняя суммарная льдистость пород нередко рассчитываются без учета мощности разных по криотекстуре горизонтов СМП, т.е. без частот. Поэтому нередко приводятся значения i_c не средневзвешенные, а средние арифметические, которые не всегда отражают действительную величину i_c . Инвентаризация и корректная обработка данных по влажности СМП на конец периода сезонного промерзания и пересчет их в i_c и $i_{ш}$ — большая самостоятельная работа, до сих пор еще практически неначатая, а без этого невозможны ни обобщенная количественная оценка i_c и $i_{ш}$, а значит, и интенсивности льдообразования в СМП, ни установление закономерностей их изменения в пространстве.

Еще сложнее выявить закономерности временной вариации количественных показателей льдообразования. Большая часть сведений о них — результат разовых наблюдений, разногодичных и разновременных в году. Для определения их средних многолетних и экстремальных значений необходимы стационарные многолетние наблюдения за льдообразованием в горных породах с предварительной разработкой методологических основ этой проблемы и методики стационарных наблюдений. В настоящее время ни по одному количественному показателю льдообразования в СМП нельзя привести конкретных критериев. В классификации они обозначены условными индексами, соответствующими

щами среднему многолетнему значению каждого показателя $\bar{t}_H, \bar{\tau}_{HP}, \bar{V}, \bar{i}$ и среднему квадратическому отклонению σ их частных значений t_H, τ_{HP}, V, i от среднего. Это делает данную классификацию универсальной, применимой и к СМП, и ММП любого региона или района. Отражение в классификации количественных показателей неизбежно приведет к более целенаправленному и детальному изучению данного ЛКП. В частности, применительно к СМП уже сейчас возможна организация таких исследований. Они очень важны, поскольку позволят вскрыть региональную специфику не только самого процесса льдообразования в СМП, но и априорно судить о количественных показателях целого комплекса ЛКП, вызываемых льдообразованием и льдотаянием в СМП. Пока на основе знания особенностей формирования СМП и общих закономерностей их криогенного строения, главным образом их верхней монокристаллической части [Втюрина, 1974б], можно показать лишь основные закономерности качественных изменений этого ЛКП в области СКП и отчасти дать сравнительную оценку его количественных показателей в разных ее зонах.

Льдообразование в СКП — процесс зональный, требующий определенных условий для развития того или иного его типа [Втюрина, 1969б, 1974б; Втюрина, Втюрин, 1970; Ершов, 1979; и др.]. Зональность особенно четко прослеживается по усложнению комплекса типов льдообразования с усилением суровости природных условий. На крайнем юге области СКП, особенно в зоне несистематического сезонного промерзания, получают развитие лишь цементное, преимущественно подземное и сегрегационное льдообразование. С продвижением к северу наряду с этими типами начинают проявляться интрузивное и натечное, усиливается цементное наземно- и смешанно-водное. В крайней северной части области СКП, севернее геоизотермы -5°C , развивается также сегрегационно-цементное льдообразование, но практически прекращается интрузивное.

Большинству типов льдообразования свойственна приуроченность к определенному горизонту СКП [Втюрина, 1974б]. В верхнем их горизонте в пределах всей области СКП проявляется в основном сочетание цементного подземно- и наземно-водного и сегрегационного типов. В среднем доминирует цементное подземно-водное. Наиболее сложен этот ЛКП в нижнем горизонте СКП, в котором проявляется большинство типов льдообразования, но сочетания их строго зональны. Географическая зональность этого процесса в СКП проявляется в зональности комплексов его типов именно в нижнем горизонте СКП.

Грубозернистый состав пород, исключая возможность сегрегации, обуславливает азональное упрощение комплекса типов льдообразования в СКП в целом или в тех их горизонтах, которые сложены такими породами. Особенно существенные изменения вносит их наличие в нижнем горизонте СКП к северу от геоизотермы $-0,5^{\circ}\text{C}$, когда начинает проявляться возвратное промерзание, являющееся главной причиной резкого зонального усложнения льдообразования в них. Промежуточное положение занимают сильно оторфованные по всему вертикальному профилю СКП: льдообразование в них не столь зонально, как в СКП супесчано-суглинистого состава, и не столь азонально, как в СКП песчаного и более грубого состава. Подробнее эти вопросы рассмотрены нами ранее [Втюрина, Втюрин, 1970; Втюрина, 1974б].

Зональность льдообразования в СКП проявляется также в изменении его количественных показателей. Интенсивность его в целом возрастает с усложнением формирования СМП. Этот вывод касается в основном глинистых и пылеватых пород, в которых не лимитировано развитие любого типа льдообразования. Границы зон с существенными различиями его общей интенсивности в СМП в целом совпадают с границами зон и подзон с разным типом формирования СМП. Изменение общей интенсивности льдообразования в СКП с усилением суровости природных условий и усложнением формирования СМП обусловлено усилением интенсивности преимущественно сегрегационного его типа, а севернее геоизотермы -5°C также проявлением сегрегационно-цементного, приводящего к возникновению атакситового и базального льда. В том же направлении возрастает интенсивность цементного наземно-водного и смешанно-водного льдообразования, а осадочно-метаморфическое и натечное — резко усиливаются в горных странах. Исключение составляет интрузивное льдообразование, которое наиболее интенсивно в средней части области СКП и редко проявляется как в крайних южных, так и крайних северных ее районах. Состав пород в определенной мере нарушает указанные общие закономерности изменения интенсивности льдообразования в СМП. Так, пески и более грубые обломочные породы без мелкозема или с незначительным его содержа-

нием — наиболее слабодыстые, но цементное льдообразование в них, как подземно-, так и наземно-водное, очень интенсивное на большей части области СКП. Торф и оторфованные породы — сильнотыстые в любой зоне вследствие интенсивного развития в них и цементного, и сегрегационного льдообразования.

Интенсивность льдообразования как общая, так и разных его типов и подтипов неодинакова по вертикальному профилю СМП. Сегрегационное льдообразование наиболее интенсивно проявляется в верхнем горизонте СМП, в пределах всей их области, а в северной ее части (севернее геоизотермы $-0,5^{\circ}\text{C}$) — в верхнем и нижнем горизонтах СМП. В среднем их горизонте оно проявляется значительно реже, в основном на Крайнем Севере, где мощность СКП менее 50 см, и вне области ММП или при глубоком их залегании при возможности подтока влаги извне, а также при оторфованности этого горизонта или его глинистом составе при песчаном и более грубом составе верхнего и нижнего горизонтов. Цементное подземно-водное льдообразование проявляется в любом горизонте СМП, но доминирует в среднем, реже по всему разрезу, сегрегационно-цементное — только в нижнем горизонте СМП, а интрузивное (инъекционное) — в среднем и нижнем или только в нижнем.

Отсюда несовпадение начала и длительности периода проявления наиболее распространенных типов льдообразования. Цементное подземно-водное начинается или одновременно с переходом температуры пород через 0°C (пески и более грубые влажные породы без мелкозема) или позднее его (слабовлажные глинистые породы). Период его проявления или совпадает с периодом промерзания или короче его, если цементное подземно-водное льдообразование сочетается с сегрегационным, сегрегационно-цементным и т.д. Цементное наземно- и смешанно-водное льдообразование, как правило, начинается позднее, чем сезонное промерзание, и приводит к формированию вторичных подземных льдов. Период его проявления может быть и меньше, и больше сезонного промерзания, лишь немного уступать длительности холодного периода. Особенно интенсивно оно в начале и в конце периода своего проявления при оттепелях и с началом весеннего снеготаяния, половодий и протаивания верхних горизонтов пород. Сегрегационное льдообразование в части области СМП к югу от геоизотермы $-0,5^{\circ}\text{C}$ проявляется преимущественно только в начале периода сезонного промерзания пород, начинаясь почти одновременно с ним и заканчиваясь много раньше, реже — с перерывами на протяжении всего периода промерзания, чередуясь с цементным. К северу от геоизотермы $-0,5^{\circ}\text{C}$ сегрегационное льдообразование проявляется в один или два этапа. В зоне, ограниченной геоизотермами $-0,5$ и -4°C , где формирование СМП преимущественно полихронное, реже монокронное полигенетическоепрямоупреждающее, сегрегационное льдообразование развивается в начале и примерно в середине периода сезонного промерзания. Севернее, в зоне между геоизотермами -4 и -5°C , оно проявляется в основном только в начале периода сезонного промерзания одновременно в двух горизонтах СМП: верхнем и нижнем. К северу от геоизотермы -5°C , в зоне, где мощность СМП более 0,5 м, оно приходится примерно на середину этого периода, поскольку здесь раньше всего начинает проявляться сегрегационно-цементное льдообразование, всегда приходящееся только на начало возвратного промерзания. В крайних северных районах, где мощность СМП менее 0,5 м и где они обычно сильно оторфованы, сегрегационное льдообразование наблюдается большую часть периода промерзания, чередуясь с цементным, в самом начале этого периода развивается сегрегационно-цементное льдообразование в нижнем горизонте монокронной части СМП. Интрузивное льдообразование в СКП приходится в основном на середину или конец периода сезонного промерзания.

Следовательно, период проявления разных типов льдообразования находится в разном соотношении с длительностью периода сезонного промерзания пород. Сегрегационное и сегрегационно-цементное, интрузивное проявляются лишь часть периода сезонного промерзания, период цементного за счет подземных вод может быть равен и короче его, а за счет наземных вод и снега в основном больше периода сезонного промерзания, особенно в области ММП, но меньше холодного периода.

Последнее время стало уделяться много внимания льдообразованию в мерзлых тонкодисперсных породах при протаивании. Экспериментально показана возможность перестройки массивной криотекстуры таких пород в шлировую при скорости их протаивания до $0,3-0,6$ см/ч и градиенте температуры до $1-1,5$ С/см [Ершов, 1979; и др.]. Но такие градиенты температуры не свойственны СКП в период протаивания, а ско-

рость протаивания много меньше. Имеющиеся указания на наличие такой перестройки в природном СТС [Пармузина, 1977, 1978, 1979] не вызывают доверия из-за их методической некорректности. Кроме того, трудно представить чисто транзитную роль среднего горизонта СТС с массивной криотекстурой мощностью до 15–20 см. По данным О.Ю. Пармузиной, через него проходит количество воды, достаточное для перестройки массивной криотекстуры нижнего горизонта СТС мощностью также до 15–20 см в шпировую без каких-либо изменений криотекстуры среднего горизонта. Более чем за 20 лет специальных исследований криогенного строения СКП не по скважинам, а по шурфам в разные сезоны года нами ни разу не наблюдалось подобное изменение класса криотекстуры и типа криогенного сложения СКП при их протаивании, за исключением случаев заполнения талой водой полых трещин.

Если мнение о коренной перестройке криогенного сложения и текстуры СКП в теплый период года верно, то это ставит под сомнение правильность таких кардинальных положений, как: а) зависимость криогенного строения СКП от температуры ММП; б) зональность криогенного строения СКП; в) различия в криогенном строении моно- и полигенетических СКП; г) зависимость криогенного строения сингенетических ММП от особенностей формирования СКП, его зональность и отличие от строения эпигенетических ММП; д) возможность применения мерзлотно-фациального и криотекстурного методов при изучении ММП и палеогеокриологических реконструкциях. Но правильность этих положений неоднократно подтверждена натурными наблюдениями ряда исследователей и сейчас уже не вызывает сомнений.

Различные по механизму типы льдообразования приводят к возникновению в основном разных типов подземного льда в СКП. Пересмотр понятий "сезонотальный" и "сезонномерзлый" слой горных пород, введение нового понятия "сезоннокриогенные породы" не привели к изменению представлений о льдообразовании в СКП, высказанных нами ранее. Иное дело подземные льды СКП. Учет временной динамики глубины сезонного промерзания и протаивания пород заставляет несколько уточнить представления о них, изложенные нами ранее [Втюрина, Втюрин, 1970; Втюрин, Втюрина, 1981б; Втюрина, 1974б]. Основываясь на том, что СТС и СМС пребывают в мерзлом состоянии менее года, только холодный сезон, как это следует из их определения, мы считали невозможным образование в них тех типов подземного льда, которые требуют сохранения пород в мерзлом состоянии многие годы, например повторножильного (ПЖЛ). Теперь, когда установлено, что время пребывания СКП в аградационной фазе изменяется от нескольких дней до 30 лет, это ограничение снимается. В СКП могут формироваться любые типы подземных льдов. А потому генетические классификации подземных льдов СКП и ММП во многом сходны, но не идентичны. Наличие ПЖЛ в остаточном горизонте полихронных полигенетических СМП усилило это сходство. Молодые ростки ледяных жил, возраст которых менее 30 лет, если они находятся в зоне проявления сезонного цикла промерзания–протаивания, принадлежат СМП, их остаточному горизонту, а не ММП. В работе 1974 г. мы рассмотрели криогенное строение и подземные льды лишь большей верхней части СМП, монохронной по формированию, в пределах области ММП, вследствие чего ПЖЛ были исключены из свойственной этой части СМП группы подземных льдов. При построении же общей генетической классификации подземных льдов (рис. 17) они были учтены [Втюрин, Втюрина, 1981б].

Однако изучение СКП показало, что свойственные им льды отличаются от льдов ММП не только по морфометрии. Они превосходят льды ММП по качественному многообразию. В СКП наблюдаются как сезонные льды, так и многолетние, в то время как в ММП только многолетние. Сезонные подземные льды свойственны монохронным СМП и верхней ежегодно протаивающей и промерзающей части полихронных СМП. Многолетние льды – специфическая особенность полихронных СМП, свойственная их остаточному горизонту. Влияние генетических особенностей СМП проявляется также в зональности этих градаций льдов СКП. В южной зоне, где формирование СМП монохронное, развиты только сезонные подземные льды. В средней, где СМП и моно-, и полихронные, распространены или только сезонные льды, или сочетание сезонных и многолетних. Число и площадь участков, на которых наблюдается сочетание сезонных и многолетних льдов, возрастают к северу. В северной зоне такие участки становятся доминирующими.

Льдам СКП свойственна еще одна специфическая особенность, не характерная для льдов ММП. Они бывают как систематические, формирующиеся в каждую зиму за

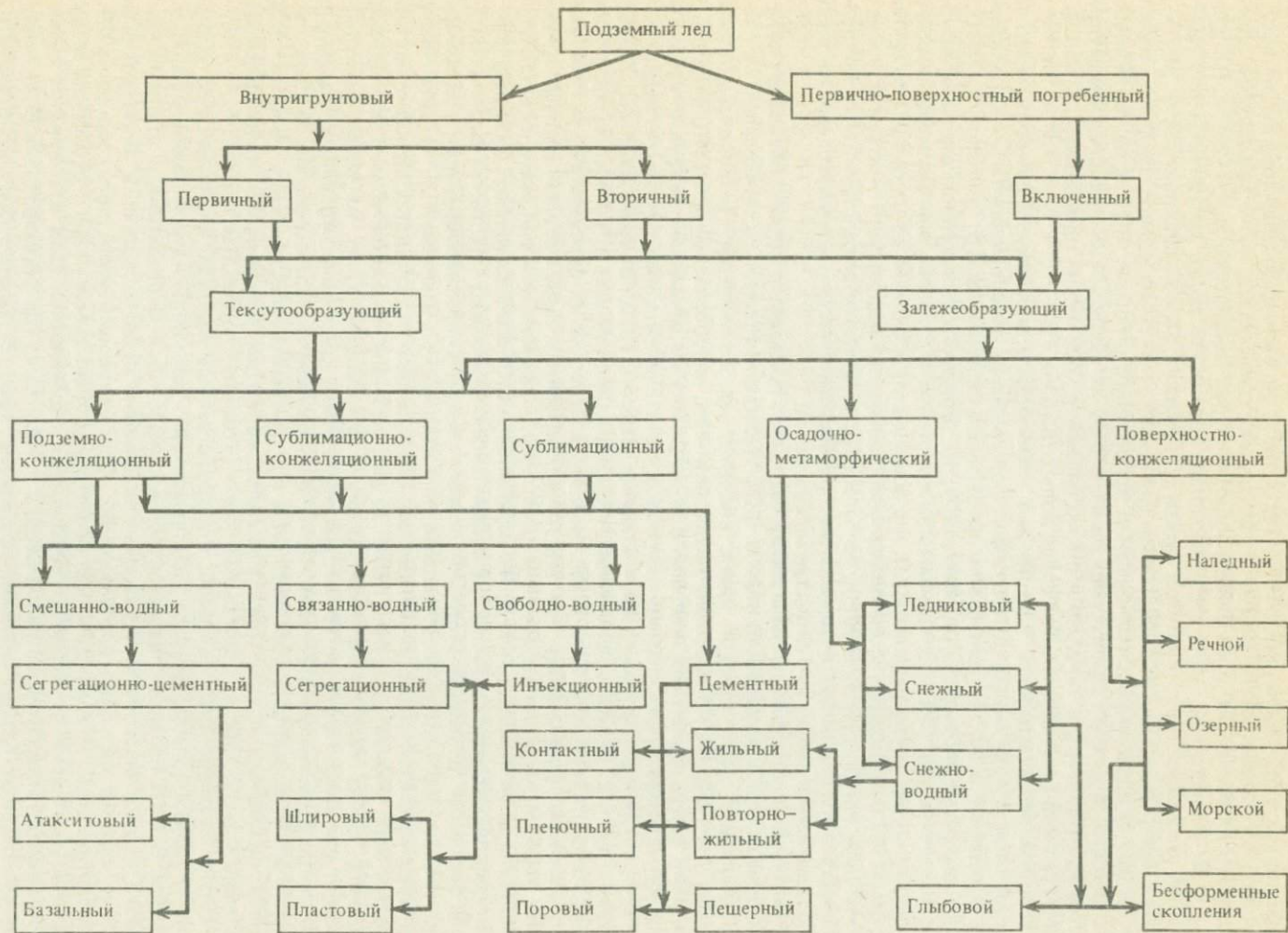


Рис. 17. Общая классификация подземных льдов. Составили Б.И. Втюрин и Е.А. Втюрина (19816)

репрезентативный период, так и несистематические, наблюдающиеся не каждую зиму. Последнее не всегда связано с несистематическим образованием СМП. Систематическим СМП, как моно-, так и полихронным, обязательно свойствен горизонт несистематических сезонных и многолетних льдов. В монохронных СМП — это их нижний горизонт, подстилающий обычно более маломощный горизонт ежегодного сезонного промерзания и протаивания. В полихронных — это горизонт между верхним горизонтом ежегодного промерзания и протаивания и нижним, протаивающим один раз за 30 лет.

Таким образом, систематические сезонные льды СКП свойственны лишь их верхнему ежегодно промерзающему и протаивающему горизонту, мощность которого ограничена минимальной за репрезентативный период мощностью СМП. В СКП доминируют несистематические сезонные льды вследствие временных колебаний мощности монохронных СМП и неежегодного их формирования на ряде участков, а также из-за динамики глубины сезонного протаивания полихронных СМП, приводящей к чередованию в их средней части сезонных и многолетних льдов. Это та часть полихронных СМП, в которой сезонные циклы промерзания—протаивания проявляются 2, 3, 5 лет и более подряд, с перерывами в несколько лет. При ежегодном в течение нескольких лет проявлении в ней циклов сезонного промерзания—протаивания формируются сезонные льды. Прекращение их ежегодного проявления приводит к переходу сезонных льдов в многолетние по времени существования.

Названные особенности подземных льдов СКП будут учтены нами в дальнейшем при их систематике. Они образуют таксоны I и II ранга. В основу дальнейшей классификации льдов СКП положены те же признаки, с учетом которых построена нами с Б.И. Втюриным [1981б] общая классификация подземных льдов.

Количественные показатели текстуробразующих и залежеобразующих льдов при их генетической идентичности настолько различны, что едва ли целесообразно учитывать их в общей классификации подземных льдов. Видимо, это следует делать в частных классификациях отдельно текстуробразующих и залежеобразующих льдов, давая конкретные градации их по мощности ледяных тел (толщине шпиров текстуробразующих льдов) и по их площади в плане или протяженности в профиле СКП.

Мы не останавливаемся на особенностях подземных льдов СКП, отчасти это сделано ранее [Втюрина, 1974б]. С учетом приведенных выше дополнений это дает представление об особенностях подземных льдов и их распределении в вертикальном профиле верхней монохронной части СМП в области ММП. В их нижнем остаточном горизонте к подземным льдам, свойственным монохронной верхней части, добавляются ПЖЛ и систематические многолетние льды другого генезиса. Это делает остаточный горизонт, а значит, и полихронные СМП в целом более сложными как по льдообразованию, так и по многообразию подземных льдов.

Таким образом, учет многолетней динамики глубины сезонного протаивания и промерзания пород, замена проблемы СТС—СМС проблемой СКП сделали необходимым пересмотр старых представлений о подземных льдах СКП и приведение их систематики в соответствие с их природным многообразием.

Таким образом, по качественному разнообразию подземных льдов СКП — наиболее сложное природное литокриогенное образование, несмотря на то что мощность их на 1—2 порядка меньше, чем ММП. Лишь по возможным максимальным размерам льды СКП уступают льдам ММП.

Криогенные текстуры и криогенное сложение

Пространственная неоднородность процесса льдообразования, многообразие подземных льдов, их морфометрические различия, приуроченность к определенным горизонтам СКП находят выражение в многообразии криотекстур и неоднородности криогенного сложения аградационной фазы СКП, т.е. СМП. Детальная характеристика криотекстуры и криогенного сложения верхней монохронной части полихронных СМП в области ММП дана нами ранее [Втюрина, 1974б]. Знание закономерностей криогенного строения этой части СМП позволяет понять особенности строения полихронных СМП в целом. Мерзлый остаточный горизонт, наличие которого делает СМП полихронными, является, как указывалось, непротаявшим остатком нижнего горизонта монохронных СМП за один или несколько лет. Следовательно, криогенное строение полихронных СМП определяется особенностями криотекстуры, криосложения и подземных

льдов, свойственными верхней монохронной части и остаточному мерзлому горизонту. Чем сложнее криогенное строение остаточного горизонта, тем больше различие криогенного строения полихронных СМП в целом и их верхней монохронной части.

Рассмотрим кратко основные особенности криогенной текстуры верхней монохронной части полихронных СМП области близко залегающих ММП и монохронных СМП вне ее.

Многолетние исследования, проведенные автором на севере Якутии, Европейской части СССР, в Западной Сибири, на Чукотке, в Забайкалье, а также анализ большого объема литературы позволили установить основные классы, типы, виды криотекстур, свойственные верхней монохронной части полихронных СМП, и особенности их изменения в пространстве, построить классификацию (рис. 18, см. вкл.). Возможность формирования криотекстуры того или иного класса, ее приуроченность к определенному горизонту верхней монохронной части полихронных СМП зависят в основном от состава пород и режима их сезонного промерзания. Влажность СМП в северных районах редко бывает настолько мала, чтобы препятствовать развитию сегрегационного и цементно-сегрегационного льдообразования наряду с цементным, а значит, и практически любых криотекстур. Наиболее полный комплекс криотекстур свойствен СМП крайних северных районов, где температура ММП ниже -5°C .

Для верхнего горизонта СМП как в области ММП, так и вне ее наиболее типична шлировая криотекстура, преимущественно частослоистая и сетчато-слоистая, реже мелко- и среднесетчатая и ячеистая, микро- и тонкошлировая. Это объясняется преобладанием пылеватых супесчано-суглинистых пород в верхнем горизонте СМП, их достаточно высокой влажностью и прямым повсеместно сезонным промерзанием этого горизонта. Массивная криотекстура свойственна ему лишь при грубом составе пород, исключающем возможность сегрегационного льдообразования, ложношлировая — если он сложен слаборазложившимся торфом.

Среднему горизонту верхней монохронной части полихронных СМП характерны разные типы массивной криотекстуры и при грубом, и при тонкодисперсном составе. Мощность среднего массивного горизонта возрастает с севера на юг с уменьшением роли возвратного сезонного промерзания. Лишь в крайних северных районах, где мощность СМП менее 50 см, а также при значительной оторфованности этого горизонта в нем развивается сегрегационно-шлировая криотекстура, в основном частослоистая или беспорядочная, микро- и тонкошлировая. Следовательно, криотекстура среднего горизонта в отличие от верхнего зональна: массивная в большей южной части области близко залегающих ММП и шлировая в ее крайней северной части.

Наиболее разнообразна криотекстура нижнего горизонта верхнего монохронной части полихронных СМП, которой свойственны все классы криотекстур, но проявление каждого из них подчиняется законам зональности. Для формирования того или иного класса криотекстуры в этом горизонте нужны не только определенный состав и влажность пород, не препятствующие развитию любого типа льдообразования, но и определенное охлаждающее влияние ММП, а следовательно, и характер сезонного промерзания. Установлено, что при температуре ММП выше $-0,5^{\circ}\text{C}$ и отсутствии возвратного промерзания в нижнем горизонте верхней монохронной части СМП формируется массивная криотекстура. Шлировая криотекстура развивается в ней лишь в случае оторфованности пород.

Севернее, при температуре ММП от $-0,5$ до -5°C , когда наряду с прямым начинает проявляться возвратное сезонное промерзание, в этом горизонте образуется слоистая, преимущественно частая тонкошлировая криотекстура. Мощность шлирового горизонта возрастает к северу от 3–5 см до 15–20 см.

В крайних северных районах, где температура ММП ниже -5°C и возвратное сезонное промерзание начинается раньше прямого, криотекстура нижнего горизонта верхней монохронной части СМП становится сложной, комплексной. При супесчано-суглинистом составе пород в ее нижнем горизонте мощностью 2–7 см формируется атакситовая криотекстура, над ней — средне- и мелкосетчатая средне- и тонкошлировая. Даже при грубом без мелкозема составе пород криотекстура этого горизонта СМП зональна: южнее геоизотермы -5°C она массивная, севернее — базальная. Как показали наблюдения Б.И. Втюрина в Антарктиде, лишь при очень малой влажности пород в нижнем горизонте верхней монохронной части СМП формируется массивная криотекстура и при температуре ММП ниже -5°C .

Таким образом, зональность криогенного строения этой части полихронных СМП определяется прежде всего зональностью криотекстуры ее нижнего горизонта.

Вне области близко залегающих ММП сезонномерзлые породы только монохронные и криотекстура их сходна с криотекстурой верхней монохронной части СМП южных районов области ММП, южнее геоизотермы $-0,5^{\circ}\text{C}$. Закономерны массивная и шлировая криотекстуры: слоистая, сетчатая, ячеистая и сетчато-слоистая или различные их сочетания в СМП глинистого состава; массивная в СМП песчаного состава; шлировая, ложношлировая, гнездовая в СМП торфяного состава. Видимо, в южной части области СМП чаще, чем к северу от геоизотермы 0°C , наблюдается контактно- и пленочно-массивная криотекстура. Кроме того, здесь встречается своеобразная ячеистая криотекстура, предопределенная особенностями структуры глинистых пород и их малой влажностью. Такую текстуру мы наблюдали в Южном Приморье, в долине р. Кневичанка: четко прослеживалась ячеистая криотекстура (поперечник ячеи около 1 см), но промежутки между грунтовыми отдельностями лишь частично заполнены кристаллами сегрегационного льда, похожими на ледяные стебельки. Как видим, верхней монохронной части полихронных СМП северных районов и монохронным СМП южных районов даже без учета остаточного мерзлого горизонта свойственны все классы криотекстур.

В нижнем остаточном горизонте полихронных СМП повторяется та криогенная текстура или комплекс текстур, которые свойственны нижнему горизонту их верхней монохронной части, и они столь же зональны. Если особенности сезонного промерзания и формирования СМП остаются неизменными за многолетний период или меняются в широком диапазоне, не приводят к качественным изменениям этих процессов, криотекстура остаточного горизонта соответствует криотекстуре вышележащего по разрезу нижнего горизонта монохронной части СМП. В противном случае она будет соответствовать криотекстуре нижнего горизонта монохронной части СМП не данной геокриологической зоны, а более северной или более южной в зависимости от направленности изменения природной обстановки.

Таким образом, учет полихронности формирования СМП не привел к изменению наших представлений об их криогенной текстуре.

Однако установление полихронности формирования СМП в области близко залегающих ММП заставляет существенно изменить представления о закономерностях криогенного сложения СМП, т.е. характера напластования горизонтов с разным классом криотекстуры, по сравнению с их трактовкой применительно к верхней монохронной части СМП северных районов [Втюрина, 1968б, 1974б]. Комплексность криотекстур — характерная черта криогенного строения как моно-, так и полихронных СМП. Класс криотекстуры редко остается неизменным по всему вертикальному профилю даже монохронных СМП, а тем более полихронных. Изучение криосложения верхней монохронной части полихронных СМП дало возможность выявить основные факторы, его определяющие, показать его закономерности и построить классификацию. Особенности криогенного сложения СМП определяются в основном двумя факторами: характером формирования СМП и их составом. Влажность СМП редко бывает меньше максимальной молекулярной влагоемкости, что отмечается лишь в отдельных южных районах области их распределения. Поэтому в естественных условиях она редко препятствует сегрегационному льдообразованию и формированию шлировых криотекстур, а значит, почти не влияет на криосложение СМП. Грубозернистый без мелкозема состав всех горизонтов СМП или их сильная оторфованность обуславливают формирование криотекстуры одного класса по профилю СМП: в первом случае — массивной, во втором — шлировой (полно-, неполно- или ложношлировой). Такое криосложение СМП названо нами простым. В тех случаях, когда криогенное сложение СМП определяется не только составом, но и особенностями формирования СМП или только последними, в вертикальном профиле СМП прослеживается напластование горизонтов с разными классами криотекстур. Такое криогенное сложение СМП названо нами сложным. В супесчано-суглинистых СМП развиваются любые типы льдообразования. Основные черты их криогенного сложения определяются особенностями формирования СМП.

Поскольку процесс формирования СМП строго закономерен, подчиняется законам зональности, то и криогенное сложение СМП, предопределенное им, столь же закономерное и зональное, вследствие чего оно названо нами закономерным.

Состав пород, взаиморасположение пород, способных и неспособных к сегрегационному льдообразованию, как в плане, так и в разрезе СМП случайны, не закономерны.

Появление пород, неспособных к сегрегационному льдообразованию, возможно в любом горизонте СМП и приводит к нарушению тех закономерностей их криогенного сложения, которые предопределяются формированием СМП, делает его не закономерным.

Изучение верхней монокхронной части супесчано-суглинистых СМП позволило установить в ней несколько типов сложного закономерного криосложения. К северу от геоизотермы 0°C наблюдается постепенная смена двухгоризонтного ее сложения на трех-, затем четырехгоризонтное и, наконец, на двухгоризонтное северное (рис. 19). Каждому типу закономерного криосложения свойственно строго определенное чередование классов криотекстуры в вертикальном профиле верхней монокхронной части СМП [Втюрина, 1968а, 1973, 1974б]. Незакономерное криогенное сложение этой части СМП может быть простым, т.е. без смены класса криотекстуры в вертикальном профиле, и сложным с весьма различным напластованием горизонтов с разным классом криотекстуры, предопределенным не только характером формирования СМП, но и сменой их состава по вертикальному профилю. Простое криогенное сложение верхней монокхронной части СМП азонально встречается в любой природной зоне. Сложное незакономерное сложение азонально в том случае, когда нижний горизонт монокхронной части СМП сложен торфом или песком, и зонально, если он представлен тонкодисперсными породами.

Рассмотрим теперь те особенности криогенного сложения полихронных СМП, которые обусловлены многолетней динамикой глубины сезонного промерзания и протаивания. Необходимо учитывать специфику не только монокхронной верхней их части, но и остаточного горизонта. Криогенное сложение остаточного горизонта весьма различно, как и его влияние на общий характер сложения СМП. При закономерном криосложении СМП это зависит в основном от размаха вариации глубины сезонного протаивания в многолетнем периоде и от года к году, и от общей направленности изменения геокриологической обстановки во времени. Чем больше размах вариации глубины сезонного протаивания пород, тем сложнее криогенное сложение остаточного горизонта СМП.

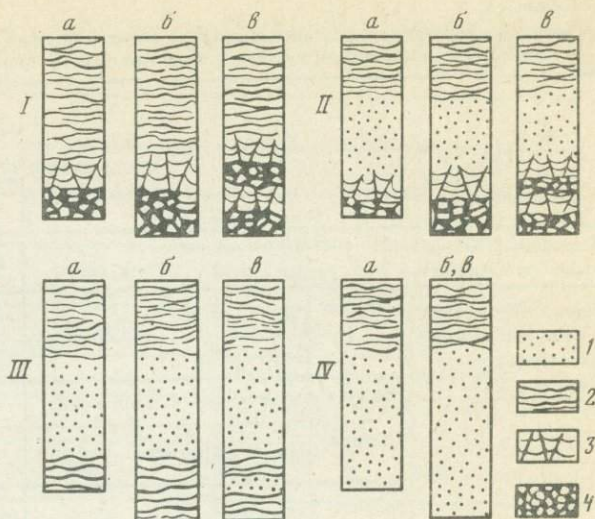
Наименьший размах вариации свойствен глубине сезонного протаивания и промерзания пород к северу от геоизотермы -5°C , где развиты наиболее льдистые полихронные СМП. Закономерное криосложение их верхней монокхронной части здесь четырехгоризонтное шлирово-массивно-шлирово-атакситовое (ШМША) или двухгоризонтное северное шлирово-атакситовое (ША). Мощность атакситового горизонта 2–7 см и более. Изменения глубины сезонного протаивания обычно не выходят за пределы 2–5 см. А потому к северу от геоизотермы -5°C остаточному горизонту СМП свойственна в основном атакситовая криотекстура. Следовательно, присоединение его к верхнему промерзшему за данный холодный сезон горизонту лишь несколько увеличит мощность пород с атакситовой текстурой, но криогенное сложение СКП в целом останется здесь четырехгоризонтным (ШМША) или двухгоризонтным (ША) или массивно-базальным (МБ) (рис. 19, I, II). Лишь при аномально резком сокращении глубины сезонного протаивания и промерзания, когда в мерзлом состоянии сохраняется не только атакситовый горизонт, но и часть нижнего шлирового, криогенное сложение СКП становится шестигоризонтным (ШМШАША) или четырехгоризонтным (ШАША или МБМБ).

Южнее в зоне, ограниченной геоизотермами -5 и -4°C , при сезонном промерзании возникает закономерное трехгоризонтное шлирово-массивно-шлировое (ШМШ) криогенное сложение монокхронной верхней части СКП со шлировой криотекстурой в нижнем горизонте мощностью 15–20 см. Изменения глубины сезонного промерзания и протаивания здесь редко более 10–15 см. А потому криогенное сложение СКП в основном остается трехгоризонтным (ШМШ) с увеличенным по мощности нижним шлировым горизонтом (рис. 19, III) или становится пятигоризонтным (ШМШМШ) при резком изменении глубины сезонного протаивания и промерзания и массивно-шлировом (МШ) криогенном сложении остаточного горизонта СМП.

Та же картина наблюдается в зоне, ограниченной геоизотермами -4 и $-0,5^{\circ}\text{C}$, где закономерное сложение верхней монокхронной части СКП также трехгоризонтное (ШМШ), но меньше в основном мощность нижнего шлирового горизонта: от 2–5 до 15 см. При большем, чем в северных зонах, размахе вариации глубины сезонного протаивания и промерзания это делает здесь более закономерным пятигоризонтное (ШМШМШ), чем трехгоризонтное (ШМШ), криогенное сложение СМП глинистого состава.

Рис. 19. Закономерное криогенное строение верхней монохронной части СКП (а) и полихронных СКП в целом: при уменьшении глубины сезонного протаивания, не превышающем мощность атакситового или шлирового нижнего горизонта (б) и превышающем ее (в)

I, II — в северной зоне, севернее геоизотермы -5° ; III — в северной и средней зонах, между геоизотермами -5 и $-0,5^{\circ}$; IV — в средней и южной зонах, южнее геоизотермы $-0,5^{\circ}$. Криогенная текстура: 1 — массивная, 2 — слоистая и сетчатослоистая, 3 — сетчатая, 4 — атакситовая



Незакономерное криогенное сложение СКП весьма различно в любой зоне. В табл. 9 приведены наиболее часто встречающиеся его типы при сочетании определенных условий: характера напластования пород, способных и неспособных к сегрегационному льдообразованию, и изменения от года к году глубины сезонного промерзания и протаивания при определенном закономерном типе сложения.

В зоне, ограниченной геоизотермами $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, закономерное криогенное сложение полихронных СМП двухгоризонтное шлирово-массивное (ШМ), отличается от монохронных только большей мощностью нижнего массивного горизонта. Оно становится незакономерным, если часть верхнего шлирового горизонта сложена породами, неспособными к сегрегационному льдообразованию, или в массивном горизонте появляются сильновлажные породы: торф, песок или более грубые без мелкозема. При глинистом составе верхнего и нижнего горизонтов СМП может возникнуть трехгоризонтное (ШМШ) сложение.

Южнее геоизотермы $+0,5^{\circ}\text{C}$ формирование СМП только монохронное. Криогенное строение пород здесь изучено пока очень слабо. При отсутствии постоянного подтока влаги к фронту промерзания должны формироваться СМП южного двухгоризонтного (ШМ) закономерного криогенного сложения, сходного с таковым в зоне, ограниченной геоизотермами $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Дополнительные осложнения в криогенное строение СМП вносит формирование в них залежеобразующих льдов разного генезиса. Согласно А.И. Попову [1967] и Б.И. Втюнину [1967б, 1969], залежеобразующими считаются подземные льды мощностью 0,3–0,5 м и более. Такой критерий применим к ММП, но не к СМП, мощность которых, как известно, не превышает 4–6 м, а в северных районах всего 15–30 см. Поэтому применительно к СМП залежеобразующими целесообразно считать подземные льды мощностью 5–10 см и более. По генезису эти льды могут быть сегрегационными (СЗЛ), интрузивными (ИЗЛ) и цементными (ЦЗЛ), к числу которых наряду с ПЖЛ относятся также жильные льды (ЖЛ) и пластовые цементные (ПЦЛ), возникающие при заполнении конжеляционным или сублимационным льдом крупных полостей в породе. Особо выделяются залежеобразующие льды, возникающие в СМП в результате захоронения отдельных участков ледникового, речного, озерного, морского, наледного льда и снежников. Это инородные включения в СМП, сформировавшиеся вне их как первично-поверхностные льды, впоследствии включенные в состав СМП. Они всегда залежеобразующие, а потому достаточно названия первично-поверхностные (ППЛ), чтобы понять, о какой группе льдов идет речь. Хотя залежеобразующие льды формируются на локальных участках, их наличие осложняет криогенное строение СМП. В северной части области СМП доминируют ПЖЛ и ЖЛ [Шумский, Втюрин, 1963; Втюрин, 1975]. Южнее встречаются лишь ЖЛ, СЗЛ и очень редко ИЗЛ, развивающиеся в весьма специфических условиях. Преобладающая часть льдов, описанных как интрузивные,

Таблица 9

Основные сочетания криогенных текстур в вертикальном профиле субазральных сезоннокриогенных пород в области севернее геоизотермы $-0,5^{\circ}\text{C}$ (СКПс)

Неоднородность состава пород			Монохронные СКП			$\Delta h = \text{Мшн}, \text{Ма}$		
			Любые					
Вся толща СКПс способна к сегрегационному льдообразованию			ШМШ	ШМША	ША	ШМШ	ШМША	ША
Часть СКПс, не способная к сегрегационному льдообразованию, и ее мощность (Мнс)	верхняя	$\text{Мнс} < \text{Мшв}$	МШМШ	МШМША	МША	То же криогенное сложение, что и у монохронных, лишь увеличивается Мшн при трехгоризонтном и Ма при четырехгоризонтном сложении СКПс по сравнению с монохронными		
		$\text{Мнс} = \text{Мшв}$	МШ	МША	''			
	верхняя и средняя	$\text{Мшв} < \text{Мнс} < \text{Мшв} + \text{Мм}$	''	''	''			
		$\text{Мнс} = \text{Мшв} + \text{Мм}$	''	''	''			
	средняя	$\text{Мнс} = \text{Мм}$	ШМШ	ШМША	ШМА			
	средняя и нижняя	$\text{Мм} < \text{Мнс} < \text{Мм} + \text{Мшн}$	ШМШ	ШМША	''			
		$\text{Мм} + \text{Мшн} < \text{Мнс} \leq \text{Мм} + \text{Мшн} + \text{Ма}$	ШМ	ШМБ	ШМБ, МБ			
	нижняя	$\text{Мнс} < \text{Мшн}, \text{Ма}$	ШМШМ	ШМШАБ	ШАБ			
		$\text{Мнс} = \text{Мшн}, \text{Ма}$	ШМ	ШМШБ	ШБ			
	верхняя, средняя, частично нижняя	$\text{Мшв} + \text{Мм} < \text{Мнс} < \text{Мшв} + \text{Мм} + \text{Мшн}, \text{Ма}$	МШ	МА	МА			
верхняя и нижняя	$\text{Мнс} = \text{Мвш}, \text{Мнш}, \text{Мнш} + \text{Ма}$	М	МБ	МШБ				
	$\text{Мвш} = \text{Мнс} < \text{Мнш}, \text{Мнш} + \text{Ма}$	МШ	МШБ	МШБ				
	$\text{Мвш} > \text{Мнс} = \text{Мнш}, \text{Мнш} + \text{Ма}$	МШМ	МШМБ	МШБ				
Вся толща СКПс не способна к сегрегационному льдообразованию			М	МБ	МБ			
Отгорфованная часть СКПс и ее мощность (Мот)	средняя	$\text{Мот} = \text{Мм}$	Ш	ША	ША			
	нижняя	$\text{Мот} = \text{Мшн}, \text{Ма}$	ШМШ	ШМШ, ШМША	ША, Ш			
		$\text{Мот} = \text{Мм} + \text{Мшн} + \text{Ма}$	Ш	Ш, ША	Ш, ША			
	все СКПс	$\text{Мот} = \text{СКПс}$	Ш	''	''			
Залежеобразующие льды, свойственные данным СКПс			СЗЛ, ИЗЛ	редко СЗЛ и ИЗЛ	СЗЛ, ИЗЛ, ПЖЛ	ПЖЛ, редко ИЗЛ		

Примечание: 1) криогенная текстура: М – массивная, Ш – шпировая, А – атакситовая, Б – базальная; Мн – множественное повторение комплекса криотекстур, указанных в скобках; 2) залежеобразующие льды: СЗЛ – сегрегационные, ИЗЛ – интрузивные, ПЖЛ – повторножильные; 3) мощность горизонтов: Мшв – верхнего шпирового, Мм – среднего массивного, Мшн – нижнего шпирового, Ма – атакситового.

Полихронные СКП					
Изменения глубины сезонного протаивания и промерзания, Δh					
$\text{Мшн}, \text{Ма} < \Delta h \leq \text{Мшн} + \text{Ма}$			$\text{Мшн} + \text{Ма} < \Delta h < \text{Ма} + \text{Мшн} + \text{Мм}$		
ШМн (МШ)	ШММн (ША)	Мн (ША)	ШМн (МШ)	ШМн (МША)	Мн (ША)
Мн (МШ)	МШММн (ША)	ММн (ША)	Мн (МШ)	МШМн (МША)	МШМн (ША)
М (МШ)	ММн (ША)	''	''	Мн (МША)	ММн (ША)
''	''	''	''	ММн (МША)	''
МШ	МБША	МБАША, МБША	МШ	МБША	МБША
ШМн (МШ)	ШМАША, ШМБША	ШМБША, ШМАША	ШМШ	ШМБША	ШМБША
ШМШ	ШМБША	ШМБА, ШМБША	''	''	ШМБША, ШМБА
ШМ	ШМБМБ	ШМБМБ, ШБ	ШМ	ШМБМБ	ШАБ, ШБ
ШМШМ	ШМШАБ	ШАБ	ШМШМ	ШМШАБ	ШАБ
ШМ	ШМШАБ, ШМШАШБ	ШАШБ	ШМ	ШМШАШБ	ШАБ, ШАШБ
МШ	МБА	МБА	МШ	МБА	МБА
М	МБМБ	МАБ	М	МШАБ	МАБ, МШАБ
МШ	МШАБ	МАБ	МШ	МШАБ	МАБ, МШАБ
МШМ	МШМБ	МШАБ	МШМ	МШМБМБ	МАШБ, МШАШБ
М	Мн (МБ)	Мн (МБ)	Мн (МБ)	Мн (МБ)	Мн (МБ)
Ш	ШАША	ШАША	Ш	ШАША	ШАША
ШМн (МШ)	ШММн (ША)	ШАША, ШАШ	ШМШ	ШАША, ШАШ	ШАШ, Ш
Ш	Ш, ШАША	ШАША, Ш	Ш	Ш, ШАША	Ш, ШАША
Ш	''	''	''	''	''
СЗЛ, ИЗЛ, ПЖЛ	ПЖЛ, редко ИЗЛ		СЗЛ, ИЗЛ, ПЖЛ	ПЖЛ, редко ИЗЛ	

по ряду признаков с большим успехом может быть отнесена к сегрегационным, не столь требовательным к условиям развития. ППЛ возможны в любой зоне, но чаще встречаются в горах.

Таким образом, криогенное строение СМП весьма неоднородно, но в целом закономерно, подчиняется закону зональности, осложняется с возрастанием суровости природных условий, т.е. со сменой монокриогенного формирования СМП полихронным, особенно полигенетическим.

Классификация криогенного строения сезоннокриогенных пород

Познание особенностей и систематики подземных льдов, криотекстур и криогенного сложения позволяют построить общую многоступенчатую классификацию криогенного строения СКП (рис. 20) и картографически показать особенности его изменения на территории СССР. В основу классификации положены четыре признака.

По первому признаку — соотношению роли характера формирования СМП и их состава в формировании криогенного строения — различаются: 1) закономерное криогенное строение, если оно предопределено в основном особенностями формирования СМП, и 2) незакономерное, если оно является результатом не только особенностей формирования СМП, но и особенностей смены состава пород в вертикальном профиле СКП.

По второму признаку — наличию или отсутствию смены класса криогенной текстуры в вертикальном профиле СКП — выделяются: 1) простое криогенное строение, если нет чередования классов криотекстур в вертикальном профиле СКП, и 2) сложное, если оно наблюдается.

По третьему признаку — наличию залежеобразующих льдов — простое криогенное строение можно разделить на: 1) простое неосложненное, без залежеобразующих льдов и 2) простое осложненное, с их наличием; сложное криогенное строение — на: 1) очень сложное, с залежеобразующими льдами и 2) сложное, без них. Однако при построении классификационной схемы мы объединили второй и третий признак, что позволило предложить четыре градации второго ранга: 1) очень сложное, 2) сложное (без залежеобразующих льдов), 3) осложненное (простое с залежеобразующими льдами) и 4) простое криогенное строение.

Четвертый признак — генетическая принадлежность залежеобразующих льдов — позволяет разделить очень сложное и осложненное криогенное строение СКП на ряд градаций третьего ранга, отсутствующих в сложном и простом криогенном строении. Для них градации III ранга выделяются по классу криогенной текстуры или смене классов ее в вертикальном профиле СКП.

Во избежание длинных названий и увеличения размера классификации в ней класс криотекстуры обозначен первой буквой его названия: М — массивная, Ш — шлировая, А — атакситовая, Б — базальная. При многократном повторении одних и тех же сочетаний криотекстур (2 раза и более) в классификации указано Мн и в скобках повторяющееся сочетание криотекстур сверху вниз по разрезу. Особенно многообразны сочетания криотекстур при незакономерном сложном и очень сложном строении СКП. В классификационной схеме указаны лишь основные из них, наиболее частые в природе. Более подробно они приведены в табл. 9.

Дальнейшая детализация криогенного строения СКП возможна путем: 1) учета типа криотекстуры (порово-, пленочно-, контактно-массивная, слоистая, сетчатая, ячеистая, сетчато-слоистая, гнездовая, неполносетчатая, неполнослоистая, и т.д.); 2) для всех типов криотекстуры, кроме массивной, атакситовой и базальной, дополнительного деления их по двум количественным показателям: а) интервалу между шлирами или гнездами льда и б) толщине ледяных шлиров или гнезд. Каждый из этих количественных таксонов подразделяется на градации в соответствии с принятыми едиными критериями количественных показателей криогенной текстуры, что не приводит к искажению региональных особенностей криогенного строения СКП.

Поскольку классификация криогенного строения СКП по мере ее детализации становится все более индивидуальной, чтобы избежать повторений и сделать ее легко читаемой и компактной без ущерба информативности и корректности, применена предложенная автором и Б.И. Втюриным [1980] система знаков. Применение знаков в ней ограничено обозначением таксонов лишь первого ранга, что позволяет без лишних повторе-

В Европейской части СССР явно доминирует закономерное сложное двухгоризонтное ШМ криогенное строение СМП, в северной ее половине в основном сочетающееся с простым массивным. Встречаются отдельные участки болот, где криогенное строение СМП преимущественно простое шлировое в сочетании с ложношлировым; наиболее крупные участки болот показаны на карте-схеме. На севере, особенно северо-востоке Европейской части СССР, оно становится более сложным: наряду с двухгоризонтным ШМ, сочетающимся с ложношлировым и массивным, в Большеземельской тундре распространены СМП закономерного сложного трехгоризонтного ШМШ и пятигоризонтного ШМШМШ строения. Много участков с простым ложношлировым строением, приуроченных к торфяникам, по мощности равным или превосходящим мощность СМП. Из-за мелкого масштаба карты-схемы они показаны лишь на п-ове Канин и прилегающей к нему части побережья. Наиболее сложное криогенное строение СМП отмечается на островах Новая Земля и Земля Франца-Иосифа: здесь возможны все типы погребенных первично-поверхностных льдов, включая ледниковые и морские (Новая Земля), а закономерное строение меняется от двухгоризонтного МБ и ША, реже четырехгоризонтного МБМБ и ШАША (Земля Франца-Иосифа и о-в Северный Новой Земли) до очень сложного трехгоризонтного ШМШ с повторножильными льдами и погребенными первично-поверхностными (Южный о-в). Сложное и неоднородное криогенное строение СМП наблюдается в горах Кавказа: от закономерного двухгоризонтного ШМ у подножия до очень сложного незаконномерного со шлировым и массивным, а на больших высотах, возможно, и с базальным нижним горизонтом и включением гаммы типов первично-поверхностных льдов.

В Азиатской части СССР с продвижением к востоку постепенно уменьшается роль закономерного двухгоризонтного ШМ строения СМП, в том числе и в сочетании с простым ложношлировым и массивным. Оно еще доминирует в Средней Азии, Казахстане и на юге Западной Сибири. В Средней Азии появляются обширные участки СМП с простым массивным криогенным строением. В целом на территории Азиатской части до р. Енисей с севера на юг прослеживается вся гамма наблюдающихся в природе градаций криогенного строения СМП при доминирующей роли закономерного двухгоризонтного ШМ, местами в сочетании с ложношлировым. Заметная роль здесь принадлежит СМП простого, реже осложненного массивного криогенного строения. В Средней и Восточной Сибири, на Северо-Востоке СССР постепенно возрастает площадь СМП с очень сложным закономерным и незаконномерным криогенным строением. В бассейне р. Лены практически почти исчезают СМП с закономерным двухгоризонтным ШМ строением, начинают доминировать СМП с закономерным трех- и пятигоризонтным ШМШ и ШМШМШ строением. На Дальнем Востоке, от Чукотки до юга Приморья, вновь прослеживается большая часть градаций криогенного строения СМП, сменяющихся с севера на юг и с изменением высоты места над уровнем моря.

ГЛАВА IV

ОБЩАЯ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЕЗОННОМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД И ПРИНЦИПЫ ИХ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Многолетние исследования СМП и анализ имеющихся данных позволили нам выявить дифференциацию и предложить классификации ряда их показателей, как качественных, так и количественных. Однако каждая из таких классификаций, какой бы детальной она ни была, отражает неоднородность только одного какого-то признака СМП. Для того чтобы выразить сложность и многообразие СМП в целом, необходима их общая классификация, учитывающая дифференциацию комплекса основных признаков. Основу ее составляет учет особенностей формирования СМП, т.е. их генезиса как литокриогенного образования. Предложенная нами систематика процесса формирования СМП (см. рис. 9) позволяет выделить несколько рангов градаций СМП. Но СМП — это часть литосферы, в строении и свойствах которой находят выражение особенности не только литокриогенеза, но и "теплого" литогенеза. Поэтому при построении общей морфогене-

нетической классификации СМП необходимо учитывать ряд дополнительных показателей, что обуславливает ее отличие от классификации процесса формирования СМП. Одним из них является среда, в которой формируются СМП: субаэральная и субаквальная. Поскольку она определяет различие ряда характеристик СМП, то, естественно, и СМП подразделяются на: 1) субаэральные и 2) субаквальные (рис. 22, см. вкл.). По-видимому, правомерно выделение также субтерральных СМП, к которым относятся СМП холодных подземных пещер и крупных полостей. Возможно, эти СМП также бывают и субаэральные, и субаквальные.

Дальнейшая классификация СМП (выделение градаций со II по V ранг включительно) построена с учетом их генетических особенностей. Имеется в виду генезис СМП как литокриогенного образования, а не генетическая и фациальная принадлежность минерального скелета, почти не влияющая на особенности формирования СМП, хотя и сказывающаяся на ряде их признаков. Влияние этих факторов на формирование СМП проявляется только в совокупности с соответствующей дифференциацией общей геокриологической обстановки по элементам рельефа. Если на разных элементах рельефа — поймах, террасах, вершинах и склонах водоразделов — среднегодовая температура пород неодинакова, причем она меняется с переходом через критические для формирования СМП значения ($+0,5^{\circ}$; 0 ; $-0,5$; -4 ; -5°), им будут свойственны разные по формированию СМП. Если же изменение элемента рельефа не приводит к переходу температуры пород, подстилающих СМП, через указанные критические значения, на всех элементах рельефа независимо от генезиса слагающих их пород СМП будут формироваться одинаково, т.е. будут генетически однородны.

Влияние генетической и фациальной принадлежности пород должно, видимо, проявиться в различной полноте спектра градаций СМП по способу их формирования, а главное, в разной частоте встречаемости тех или иных из них на разных элементах рельефа. Так, долинам рек, различным фациям аллювия может быть свойствен иной спектр генетических градаций СМП, чем вершинам и склонам водоразделов. Классификация процесса формирования СМП и их общая морфогенетическая классификация предлагаются нами впервые. Выявлением спектров разных по формированию СМП, свойственных разным генетическим группам пород и элементам рельефа, пока никто не занимался, хотя вопрос этот представляет несомненный интерес.

Учет особенностей формирования СМП позволяет градации I ранга разделить на две градации II ранга (группы подклассов): 1) систематические СМП, формирующиеся ежегодно на данной территории, и 2) несистематические (периодические), формирующиеся не ежегодно, а лишь в благоприятные по условиям зимы. Каждая из них включает по две градации III ранга (подклассы): 1) монокронные и 2) полихронные СМП; последние по характеру вертикального разреза делятся на: 1) слитные и 2) разобоченные. Градации III ранга, в свою очередь, делятся на две градации IV ранга (группы типов): 1) моногенетические и 2) полигенетические. Моногенетические объединяют всего два типа. Полигенетические СМП делятся на восемь типов (V ранг), из них метакронные дополнительно делятся на две градации.

Учет особенностей криогенного строения СМП позволил обосновать деление СМП еще на три ранга градаций (VI, VII и VIII). Незакономерные и закономерные по криогенному строению СМП образуют две градации VI ранга. В зависимости от комплексности криогенных текстур в вертикальном профиле СМП и наличия залежеобразующих подземных льдов каждая из этих градаций подразделяется на градации VII ранга: незаконномерные — на простые, осложненные, сложные и очень сложные, закономерные — на сложные и очень сложные. В зависимости от класса криогенной текстуры и характера смены ее по вертикальному профилю СМП они подразделяются на большое число градаций VIII ранга. В классификации нами указаны преимущественно закономерные сочетания криотекстур и наиболее часто встречающиеся незаконномерные. Остальные незаконномерные их сочетания указаны в целом как разные сочетания шлировых, массивных, атакситовых и базальных, неполношлировых (НШ) и ложношлировых (ЛШ) криотекстур.

Генетическая неоднородность залежеобразующих льдов позволяет подразделить СМП как осложненного, так и очень сложного строения на 11 градаций IX ранга.

Нижние четыре таксона (с X по XIII ранг) классификации СМП — количественные, учитывающие характер распространения, мощность, среднезимнюю температуру и льдистость. Они пока слабо изучены, но введение их в классификацию необходимо, поскольку

ку именно их дифференциация позволяет наиболее полно вскрыть региональные особенности СМП. Количественные критерии распространения СМП универсальны, применимы к любой территории независимо от ее размеров. Их унифицирование не приводит к затушевыванию и искажению местных закономерностей характера распространения СМП или какой-либо их градации. Иное дело — три нижних таксона. Применение унифицированных критериев каждой их градации неизбежно приведет к затушевыванию местных закономерностей изменения мощности, льдистости и температуры СМП, выявление которых очень важно, особенно в практическом отношении. В силу зональности СМП понятиям “мощные”, “сильнольдистые”, “низкотемпературные” СМП и т.д. в каждой зоне, области, районе соответствуют свои конкретные количественные критерии. СМП мощные для одного района могут оказаться маломощными для другого и т.д. Поэтому наряду с общей классификацией СМП по мощности, льдистости и температуре необходимо построение серии ее частных вариантов, правильно учитывающих местные особенности изменения этих показателей СМП на конкретной локальной территории.

Для того чтобы предлагаемая общая морфогенетическая классификация СМП была универсальной, критерии трех нижних таксонов в ней выражены условными индексами, соответствующими частным значениям мощности M , льдистости i и температуры СМП t_3 , их средним для любой территории значениям (\bar{M} , \bar{i} , \bar{t}_3) и среднему квадратическому отклонению σ частных значений от средних. Возможно применение системы баллов, позволяющей кратко отобразить особенности СМП: балл каждой градации назначается соответственно ее порядковому номеру, а очередность баллов при записи — нумерации таксонов в классификации (см. рис. 22).

Картографическая интерпретация основных особенностей СМП — наиболее результативный и наглядный способ передачи информации о них. Как было показано, СМП дифференцируются по целому комплексу качественных и количественных показателей. Изменение каждого из них может быть отражено на картах. Чем большее количество показателей СМП учтено при составлении карты, тем она информативнее. Но из множества показателей, которые необходимо знать, чтобы составить правильное представление об СМП, до настоящего времени, как указывалось, картографическую интерпретацию получил в основном лишь один — мощность СМП, точнее глубина сезонного промерзания и протаивания. Необходимы комплексные общие обзорные и частные региональные карты СМП, правильно отражающие их основные особенности. Это специальные самостоятельные карты. Все попытки совмещенного картографического отображения СМП (а тем более СКП) и ММП заведомо обречены на неудачу, поскольку количество показателей СМП, которое должно быть отображено на карте, не меньше, чем ММП. Предложенная общая морфогенетическая классификация СМП (см. рис. 22) делает реальным создание общих обзорных карт СМП по комплексу их характеристик и частных по одному или ограниченному выборочному числу показателей. Часть таких карт-схем СМП приведена в данной работе (рис. 6, 11, 13, 21). Построение общей классификации СМП помогает решить главный вопрос — о принципах картографирования СМП. Практически все принципы классификации СМП одновременно являются принципами их картографирования.

При построении общих обзорных карт СМП, цель которых наглядно и правильно показать общие закономерности изменения СМП, должны учитываться все их показатели, дифференциацию которых можно отобразить в масштабе карты. Масштаб карты не столько ограничивает число отображаемых показателей СМП, сколько обуславливает интервал количественных их показателей. Количество и состав картографируемых показателей СМП связаны главным образом с площадью исследуемой территории и степенью неоднородности природных условий в ее пределах: чем она меньше и однороднее, тем меньше качественных и количественных изменений на ней претерпевают СМП и, следовательно, тем меньше показателей СМП отражается на карте. Вследствие этого на картах разных территорий отображаются разные характеристики СМП даже при единой методике их изучения и картографирования. Пока можно составить обзорную карту СМП в пределах СССР, отражающую общие закономерности изменения их качественных показателей, составляющих таксоны с I по VI ранг в общей классификации СМП.

Количественные показатели СМП, кроме характера их распространения, нельзя правильно показать на картах до тех пор, пока не будет методики обработки имеющихся по ним фактических данных, позволяющей получить сравнимые между собой кондиционные материалы. Пока целесообразно, по нашему мнению, составлять крупномас-

штабные карты с учетом этих показателей СМП, избегая универсальности в названии и точно указывая год или период, для которого они составлены, и какие значения показателей на них отражены: средние за данный период, максимальные или минимальные.

Нами предпринята попытка построить схематическую обзорную карту СМП в пределах СССР, отражающую общие закономерности изменения в пространстве комплекса их качественных показателей (рис. 23, см. вкл.). В основу положена общая морфогенетическая классификация СМП (см. рис. 22). В масштабе карты оказалось невозможным показать субаквальные и субтерральные СМП, а также деление полихронных СМП на слитные и разобщенные, что вполне возможно на картах крупного масштаба. Мы попытались показать лишь зону, где наличие разобщенных полихронных СМП наряду со слитными наиболее вероятно. Южная граница ее проведена нами севернее границы "частых перелетков", указанной на геокриологической карте СССР, составленной И.Я. Барановым. Учитывая качественные особенности СМП, нам кажется более правильным проводить ее по геоизотерме $+1$, а не $+3^{\circ}$, как считал И.Я. Баранов.

Эта схематическая обзорная карта СМП может также рассматриваться как карта-схема мелкомасштабного районирования территории СССР по качественным особенностям СМП. Зоны и подзоны на ней показаны с учетом генетических особенностей СМП, а районы — особенностей их криогенного строения.

Таким образом, картографирование СМП с учетом пространственной дифференциации только качественных их характеристик позволяет наглядно показать большую сложность аградационной фазы СКП на территории СССР, наличие практически всех существующих в природе качественных градаций СМП, особенно в восточной части нашей страны.

Однако, какими бы детальными ни были исследования СМП, понять сложность СКП в целом, основные закономерности изменения их качественных и количественных показателей нельзя без столь же детального исследования их второй фазы — деградационной, т.е. СТП.

ГЛАВА V

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕГРАДАЦИОННОЙ ФАЗЫ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД

Деградационная фаза СКП не менее, чем аградационная, сложна и многообразна по формированию и развитию, по числу генетических градаций и морфометрических характеристик. Детальный анализ аградационной фазы СКП позволяет сравнительно легко разобраться в основных особенностях их деградационной фазы. Почти все природные факторы, осложняющие формирование СМП, одновременно упрощают формирование СТП. В результате это приводит к сходным закономерностям изменения их основных характеристик в пространстве, но направленность этих изменений диаметрально противоположна. Это позволяет более кратко, но не менее полно охарактеризовать деградационную фазу СКП, опуская общие вопросы, детально рассмотренные в предшествующих главах.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СЕЗОННОТАЛЫХ ПОРОД

Образование СТП, так же как СМП, обусловлено проявлением комплекса взаимосвязанных ЛКП, но при ведущей роли сезонного протаивания. Пространственная неоднородность этого процесса предопределяет основные закономерности формирования и развития СТП. Особенности промерзания, льдообразования и других аградационных ЛКП оказывают влияние на формирование СТП, но преимущественно на его количественные показатели. На качественные же его характеристики они влияют реже, в основном в средней зоне области СКП, где изменение температуры пород на $0,5-1^{\circ}\text{C}$ может или исключить, или обусловить их возвратное протаивание наряду с прямым.

Сезонное протаивание пород и формирование СТП — также разные ЛКП. Сезонное протаивание пород проявляется как в области близко залегающих ММП, так и вне ее,

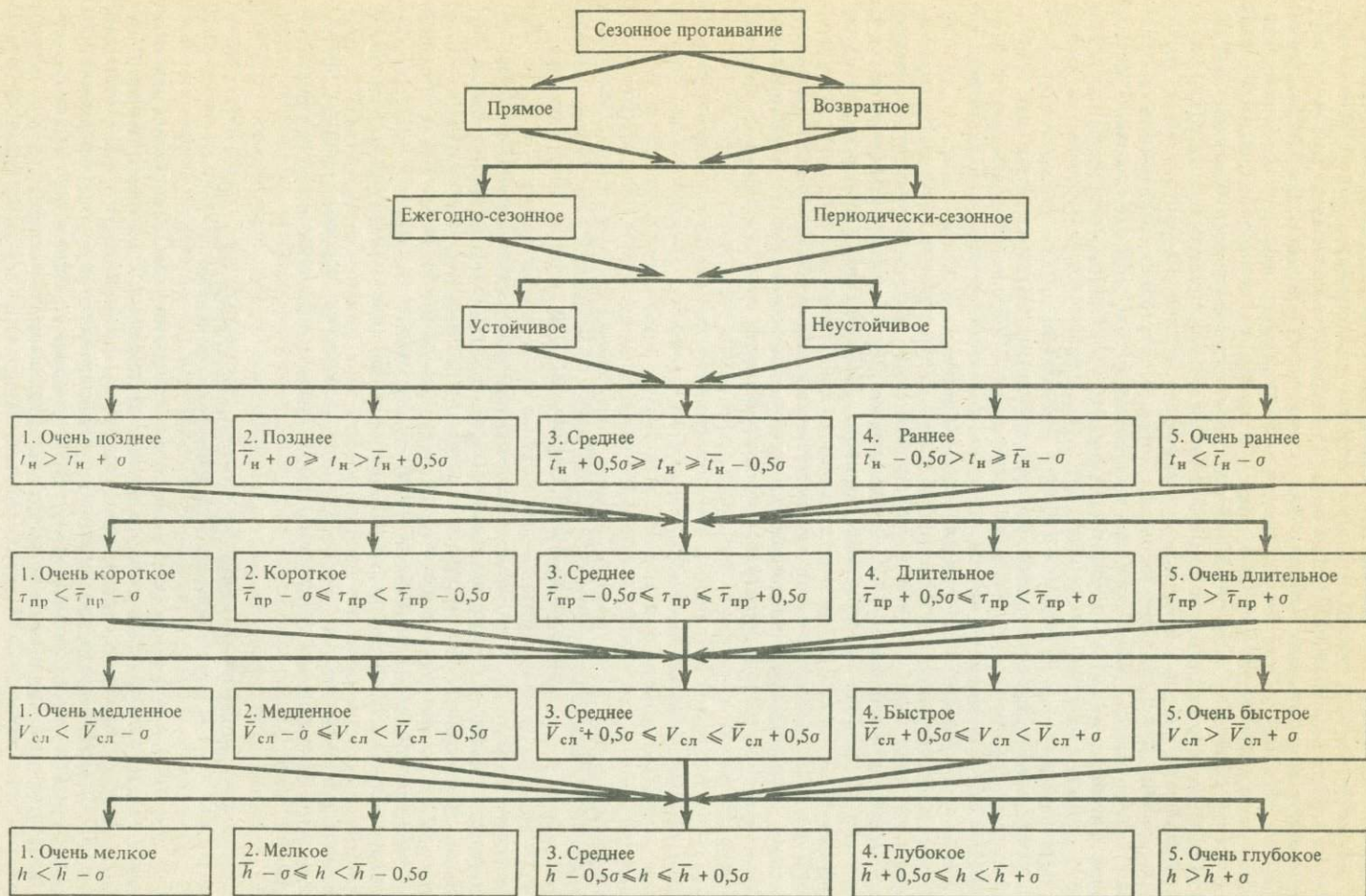


Рис. 24. Общая классификация сезонного протаивания горных пород

t_n , $\tau_{пр}$, $V_{сл}$, h — частные и \bar{t}_n , $\bar{\tau}_{пр}$, $\bar{V}_{сл}$, \bar{h} — средние многолетние значения начала, длительности периода проявления, средней летней скорости, глубины; σ — среднее квадратическое отклонение частных значений от среднего

практически во всех природных зонах, где проявляется сезонное промерзание. Это также зональный процесс, что прослеживается по изменению в пространстве его качественных и количественных показателей. Однако закономерности их изменения противоположны тем, которым подчиняется изменение тех же показателей сезонного промерзания: процесс сезонного протаивания усложняется не с юга на север, как промерзания, а с севера на юг, с уменьшением суровости природной обстановки. Поэтому классификации этих процессов, построенные нами с учетом одних и тех же признаков, сходны лишь внешне (см. рис. 2 и 24). Одинаковые по названию градации сезонного промерзания и протаивания пород проявляются на разных территориях при разных условиях. Сезонное протаивание также может быть прямым и возвратным, т.е. проявляться от дневной поверхности и от поверхности пород, контактирующих с СКП. Но если возвратное сезонное промерзание проявляется только в области близко залегающих ММП, с температурой ниже $-0,5^{\circ}\text{C}$, то возвратное сезонное протаивание, наоборот, свойственно породам только вне этой области. Зона его проявления с севера ограничена геоизотермой $+0,5^{\circ}\text{C}$. Процесс сезонного протаивания пород в южной зоне наиболее сложен, поскольку здесь постоянно проявляются обе его модификации: и прямое, и возвратное протаивание при разном соотношении их начала во времени. Чем южнее, тем раньше начинается возвратное протаивание. В подзоне, ограниченной геоизотермами $+0,5$ и $+4^{\circ}\text{C}$, оно начинается позднее прямого, в подзоне между геоизотермами $+4$ и $+5^{\circ}\text{C}$ — одновременно с прямым, а в самой южной подзоне с температурой подстилающих пород выше $+5^{\circ}\text{C}$ — раньше, чем прямое. К северу от геоизотермы $+0,5^{\circ}\text{C}$ доминирует прямое сезонное протаивание. Севернее геоизотермы $-0,5^{\circ}$, для того чтобы обусловить проявление возвратного сезонного протаивания пород необходимо существенное изменение природной обстановки, способное не только привести к глубокому протаиванию ММП, но и повышению средней годовой температуры талых пород не менее чем до $0,6^{\circ}\text{C}$. Такие изменения редки, а потому северную зону можно уверенно считать зоной только прямого сезонного протаивания. В средней зоне, ограниченной геоизотермами $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, изменения температуры пород на $0,5-1^{\circ}$ не столь редки и приводят к проявлению в одни годы только прямого протаивания, в другие — к сочетанию прямого и возвратного. Наиболее часто это должно наблюдаться к югу от геоизотермы 0°C . Севернее ее для проявления возвратного сезонного протаивания наряду с прямым требуется более существенное изменение температуры пород. Это уже область ММП, в которой для этого необходимо не только повысить температуру пород на $0,5-1^{\circ}$, но прежде протаять их. Поэтому здесь смена лет только прямого протаивания годами с прямым и возвратным сезонным протаиванием пород более редкая. С учетом частых колебаний температуры среднюю зону можно ограничить геоизотермами $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, по особенностям сезонного протаивания также выделяются три зоны: 1) северная — устойчивого прямого сезонного протаивания без сочетания с возвратным; 2) средняя — переходная, в которой в одни годы проявляется только прямое сезонное протаивание, в другие — сочетание прямого и возвратного, особенно частое в ее южной подзоне; 3) южная — устойчивого в любой год сочетания прямого и возвратного протаивания пород. Северная зона по качественным особенностям сезонного протаивания пород единая, не делится на три подзоны, на которые она разделяется по особенностям сезонного промерзания.

Среднюю переходную зону по особенностям сезонного протаивания, как и промерзания, можно разделить на две подзоны, разграниченные геоизотермой 0° : северную и южную. В отличие от аналогичных подзон сезонного промерзания, в данном случае редкопереходной с несистематическим, но частым проявлением только прямого сезонного протаивания является не южная, а северная из них, а частопереходной — южная подзона, в которой почти одинаково часто проявляется только прямое сезонное протаивание и сочетание прямого и возвратного.

Южная зона, единая по особенностям сезонного промерзания (только прямое), по проявлению сезонного протаивания разделяется на три подзоны: северную — с более ранним началом прямого сезонного протаивания, среднюю — с одновременным началом прямого и возвратного протаивания и южную — с более ранним началом возвратного протаивания. Границей между первой и второй подзонами служит геоизотерма $+4^{\circ}\text{C}$, а между второй и третьей — геоизотерма $+5^{\circ}\text{C}$.

Если возможность проявления только возвратного сезонного промерзания без сочетания с прямым лишь предполагается, то проявление только возвратного протаивания

Таблица 10

Общая классификация структуры календарного периода τ_K сезонного протаивания горных пород

Тип	Подтип	Вид	Соотношение числа зим (n) с разной структурой τ_K
Простой $\tau_K^{\text{пр}}$	—	—	$\tau_K = \tau_{\text{пр}}$
Переходный $\tau_K^{\text{п}}$	Южный $\tau_K^{\text{пю}}$	—	$n(\tau_K = \tau_{\text{пр}}) > n(\tau_K = \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{ост}})$
	Северный $\tau_K^{\text{пс}}$	—	$n(\tau_K = \tau_{\text{пр}}) \leq n(\tau_K = \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{ост}})$
Сложный $\tau_K^{\text{с}}$	Двухкомпонентный $\tau_K^{2с}$	—	$\tau_K = \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{ост}}$
	Промежуточный $\tau_K^{\text{сп}}$	Южный $\tau_K^{\text{спю}}$	$n(\tau_K = \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{ост}}) > n(\tau_K = \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{ост}} + \tau_{\text{п}})$
		Северный $\tau_K^{\text{спс}}$	$n(\tau_K = \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{ост}}) \leq n(\tau_K = \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{ост}} + \tau_{\text{п}})$
Трехкомпонентный $\tau_K^{3с}$	—	—	$\tau_K = \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{ост}} + \tau_{\text{п}}$

вания в южных районах, а также в многоснежных с ранним установлением мощного снежного покрова установлено наблюдениями. В частности, это зафиксировано на Сахалине ГМС Долинск в зимы с 1964/65 по 1967/68 г., в 1970/71, 1973/74 гг.; Лопатино — в 1962/63, 1964/65, 1966/67, 1968/69, 1969/70, 1971/72 гг.; Тымовское — в 1973/74 г.; Анива — в 1964/65, 1967/68, 1969/70, 1970/71 гг.; Невельск — в 1957/58 г. и т.д. Сахалин — район очень высокого снежного покрова, и здесь нередко, как видим, наблюдается только возвратное протаивание СМП при температуре пород около $+5^\circ\text{C}$. То же наблюдается на юге Украины, в Крыму, на Кавказе, в Средней Азии, Казахстане и даже в Подмосковье. Нередко фиксируется полное возвратное протаивание горизонта СМП, успевшего промерзнуть к началу оттепели или сильного снегопада. Это наблюдалось нами в ноябре 1972 г. в Кавалеровском районе Приморья, где мерзлый горизонт пород, достигший к этому времени мощности 10–15 см, полностью протаял после увеличения высоты снежного покрова до 0,5–1 м. То же отмечено на Сахалине ГМС Тымовское в ноябре 1973 г., Долинск в январе 1973 г., Анива в декабре 1971 г.

Детально останавливаться на вопросах о самостоятельности, обособленности процессов прямого и возвратного протаивания нет необходимости, так как это привело бы к повторению тех положений, которые были высказаны при рассмотрении сезонного промерзания пород. Укажем лишь, что они разнятся по всем основным количественным показателям. Длительность календарного (τ_K) и фактического периода проявления ($\tau_{\text{пр}}$) возвратного протаивания может быть меньше, равна и больше, чем прямого.

Структура τ_K сезонного протаивания столь же неоднородна, как и сезонного промерзания. Прямое и возвратное протаивание за календарный период проявления испытывают остановки $\tau_{\text{ост}}$, а в области ММП могут сменяться промерзанием $\tau_{\text{п}}$. Поэтому длительность периода фактического их проявления $\tau_{\text{пр}}$ может быть равна τ_K или меньше ее на $\tau_{\text{ост}}$ или $\tau_{\text{ост}} + \tau_{\text{п}}$. Классификация τ_K сезонного протаивания (табл. 10) весьма сходна по форме с классификацией τ_K сезонного промерзания (см. табл. 1). Иное лишь соотношение числа зим с разной структурой τ_K для южных и северных ее подтипов и видов. Однако зоны и районы со сходными по названию типами структуры τ_K сезонного протаивания пород и их сезонного промерзания не совпадают. Структура τ_K сезонного протаивания усложняется не к югу, как промерзания, а к северу, и наиболее сложная трехкомпонентная она в области ММП с температурой -5°C и ниже. Здесь наблюдаются не только остановки протаивания ($\tau_{\text{ост}}$), но и частичное возвратное промерзание протаивших пород ($\tau_{\text{п}}$). Длительность τ_K прямого сезонного протаивания, как и промерзания, лишь в средней зоне соответствует длительности теплового периода года (τ_T).

В южной зоне она к югу становится все короче, составляя все меньшую часть τ_T , как вследствие увеличения τ_T , так и возрастания роли возвратного протаивания. В северной зоне τ_K этого процесса сокращается к северу из-за все более раннего начала возвратного промерзания. Но если τ_K прямого сезонного промерзания более резко сокращается к северу от средней зоны, то τ_K прямого сезонного протаивания, наоборот, к югу от нее, в южной зоне; τ_K возвратного протаивания всегда меньше τ_T , максимального значения достигает в средней подзоне южной зоны, уменьшаясь к северу и югу от нее.

Скорости прямого и особенно возвратного сезонного протаивания столь же слабо изучены, как и промерзания. Обработка и анализ данных ряда ГМС и АГМС Западной Сибири и Приморья (табл. 11) позволяют говорить, что в основном скорость и глубина проявления прямого сезонного протаивания пород больше, чем возвратного. Однако в южных районах иногда наблюдается и обратная закономерность: глубина проявления и скорость возвратного протаивания могут быть равны и больше значений тех же показателей прямого протаивания пород. Так, по материалам ГМС на Сахалине в Лопатине в 1974 г. при мощности СМП 77 см прямо протаяло всего 24 см, а возвратно — 53 см. То же наблюдалось в Краснополюе в ту же весну: прямое протаивание проявилось на глубину всего 14 см, а возвратное — 32 см.

Глубина сезонного протаивания во времени колеблется столь же значительно, как и глубина сезонного промерзания пород. Вне области ММП и в районах их глубокого залегания она полностью определяется мощностью СМП. А потому об их варьировании можно судить по одним и тем же данным (см. табл. 7, 8). Как показывают данные ряда АГМС и ГМС СССР, глубина сезонного протаивания пород за период в 10–28 лет колеблется в 3–5 раз, а в некоторых районах более чем в 10 раз. В области близко залегающих ММП глубина его меняется не столь значительно, однако и здесь колебания ее могут достигать нескольких десятков сантиметров. Так, в Покровске ЯАССР мощность СТП за период с 1951 по 1978 г. изменялась на 28 см; в Игарке, по данным А.П. Тыртикова [1960, 1961], на луговой площадке за 10 лет (с 1947 по 1956 г.) она менялась на 20 см. М.К. Гаврилова [1966] указывает, что в Якутске с 1931 по 1950 г. изменения ее составили 17 см, а в Среднеколымске с 1931 по 1949 г. — 55 см.

О периоде многолетних колебаний глубины сезонного протаивания пород, его длительности и привязке во времени также мало известно, как и о периоде колебаний сезонного промерзания. Ряды наблюдений слишком коротки для достоверных суждений о нем. Поэтому длительность его также пока условно принята равной 30 годам.

Качественная неоднородность процесса сезонного протаивания пород, его временная динамика определяют основные особенности формирования деградационной фазы СКП. Это самостоятельный криодеградационный процесс, отличный от сезонного протаивания по началу и периоду проявления, скорости и глубине. В формировании СТП может участвовать не только сезонное, но и кратковременное протаивание, если оно ночью не сменяется промерзанием, а лишь приостанавливается, возобновляясь днем. Это основная причина несовпадения сроков начала формирования СТП и сезонного протаивания. Начало формирования СТП может совпадать с началом сезонного протаивания и быть более ранним, что обуславливает различия в длительности календарных периодов их проявления в тех районах, где весной нет сильных ночных заморозков. Соотношения τ_K сезонного протаивания и τ_K^{Φ} СТП с τ_T одинаковы: τ_T закономерно убывает к северу, а τ_K^{Φ} СТП максимальных значений достигает в средней зоне и уменьшается к северу и югу от нее, т.е. как с уменьшением, так и с возрастанием суровости природной обстановки. В этом изменение τ_K^{Φ} СТП сходно с изменением τ_K^{Φ} СМП, отличие в более резком изменении τ_K^{Φ} СТП не к северу, как τ_K^{Φ} СМП, а к югу от средней зоны. В целом длительность τ_K^{Φ} СТП меняется от нескольких дней на крайнем юге и нескольких десятков дней на крайнем севере до 5–6 месяцев в средней зоне. С продвижением к югу период формирования СТП все более смещается с лета на весну.

Календарный период формирования СТП не всегда соответствует периоду фактического проявления этого процесса ($\tau_{пр}^{\Phi}$). Структура τ_K^{Φ} СТП столь же многообразна, как и τ_K^{Φ} СМП. Сходны и их классификации (см. табл. 3 и 12), но лишь по форме, поскольку одинаковые по названию типы, подтипы и виды τ_K^{Φ} СТП и СМП для своего проявле-

Таблица 11

Сроки начала (t_H), окончания (t_K), длительности календарного (τ_K) и фактического ($\tau_{\text{пр}}$) проявления, среднелетняя скорость ($V_{\text{сл}}$) и глубина (h) устойчивого прямого и возвратного сезонного протаивания пород в разных районах СССР (рассчитано по материалам АГМС и ГМС)

Год	Прямое						Возвратное					
	t_H	t_K	τ_K	$\tau_{\text{пр}}$	$V_{\text{сл}}$	h	t_H	t_K	τ_K	$\tau_{\text{пр}}$	$V_{\text{сл}}$	h
Тюмень												
1954	16.IV	16.V	31	30	3,77	113	13.IV	16.V	34	13	1,00	13
1957	22.IV	3.V	12	12	7,33	88	11.IV	3.V	23	9	1,89	17
1959	21.IV	24.IV	4	4	7,78	31	12.III	24.IV	43	19	2,00	38
1961	3.IV	13.IV	11	10	6,00	60	28.III	13.IV	17	15	2,07	31
1966	11.IV	24.IV	14	12	5,59	67	2.IV	24.IV	23	16	1,69	27
1969	21.IV	2.VI	43	35	3,80	133	18.IV	2.VI	46	12	1,17	14
Тобольск												
1954	13.IV	27.V	45	42	2,21	93	—	27.V	—	—	—	34
1955	10.IV	14.V	35	33	3,27	118	1.IV	14.V	44	—	—	15
1956	30.IV	26.V	27	27	3,82	103	12.IV	26.V	45	< 33	—	32
1957	30.IV	13.V	14	14	6,86	96	12.IV	13.V	32	17	1,00	17
Ялуторовск												
1954	6.IV	17.V	42	40	3,65	146	—	17.V	—	—	—	—
1955	11.IV	20.V	40	37	—	> 150	—	20.V	—	—	—	—
1956	12.IV	22.V	41	35	3,54	117	9.V	22.V	14	11	2,09	23
1957	16.IV	18.V	33	33	4,30	142	12.V	18.V	7	—	—	8
1964	17.IV	4.V	18	16	8,75	156	4.IV	4.V	31	7	1,00	7
1965	12.IV	12.V	31	24	5,00	120	9.IV	12.V	34	14	2,14	30
1966	10.IV	26.IV	17	17	8,70	148	—	26.IV	—	—	—	32
Ишим												
1958	9.IV	17.IV	70	63	2,95	186	6.IV	7.IV	1	1	1,00	1
1964	21.IV	22.VI	63	61	3,34	204	24.V	22.VI	28	10	1,00	10
Парабель												
1969	24.IV	25.VI	63	53	2,77	147	24.VI	25.VI	63	3	1,00	3
Молчаново												
1969	11.V	21.VII	72	71	3,28	233	25.V	21.VII	58	9	1,44	13
Колпашево												
1974	17.IV	6.VI	51	38	3,26	124	17.IV	6.VI	51	14	1,50	21
Омск												
1958	11.IV	18.V	38	33	3,57	118	13.IV	18.V	36	16	1,44	23
Исиль-Куль												
1956	4.IV	17.V	44	26	3,11	81	9.V	17.V	9	8	4,63	37
1957	10.IV	8.V	29	18	6,50	117	0	0	0	0	0	0
Усть-Ишим												
1957	29.IV	14.V	16	16	2,88	46	0	0	0	0	0	0
1958	30.IV	14.V	15	15	3,47	52	0	0	0	0	0	0
Спасск-Дальний												
1963	23.III	3.V	42	39	2,28	89	29.III	3.V	36	17	1,53	26
1964	25.III	28.IV	35	30	2,43	73	23.III	28.IV	37	21	1,36	29
1974	6.IV	5.V	30	29	3,10	90	5.III	5.V	62	20	1,65	33
1977	21.III	29.IV	40	25	2,20	55	18.III	29.IV	43	16	1,38	22
Турый Рог												
1972	1.IV	25.V	55	51	2,86	146	23.III	25.V	64	18	1,61	29
1974	2.IV	2.VI	62	54	3,13	169	6.IV	2.VI	58	23	1,09	25
1977	5.III	16.VI	104	80	2,81	225	21.III	25.V	66	21	1,00	21

Таблица 11 (окончание)

Год	Прямое						Возвратное					
	t_H	t_K	τ_K	$\tau_{пр}$	$V_{сл}$	h	t_H	t_K	τ_K	$\tau_{пр}$	$V_{сл}$	h
Маргаритово												
1973	29.III	3.V	36	30	2,67	80	24.III	3.V	41	13	2,00	26
1974	26.III	29.IV	35	27	2,48	67	14.III	29.IV	47	18	1,39	25
1977	27.III	18.IV	23	14	3,21	45	16.III	18.IV	34	17	1,47	25
Немчиновка												
1972	29.III	15.IV	18	13	2,93	38	24.IV	15.IV	23	11	1,45	16
1976	12.IV	16.IV	4	4	7,25	29	1.III	16.IV	47	16	1,06	17

ния требуют совершенно разных условий. Для выявления структуры τ_K^Φ СТП необходим сопряженный анализ структуры τ_K прямого и возвратного протаивания. В южной зоне структура τ_K сезонного протаивания не всегда соответствует τ_K^Φ СТП. Совпадают они лишь в северной зоне, в средней наблюдается и то, и другое.

Структура τ_K^Φ СТП также зональна, но закономерности ее изменения в пространстве иные, чем структуры τ_K^Φ СМП: сложность ее возрастает с юга на север, с увеличением суровости условий, а не с севера на юг, как структуры τ_K^Φ СМП (рис. 25, см. вкл.). По-инному проявляется и высотная поясность в изменении τ_K^Φ СТП: при океаническом типе поясности с высотой структура τ_K^Φ СТП усложняется, если возрастание абсолютных отметок обуславливает переход среднегодовой температуры горных пород через критические для формирования СТП значения (0° ; $\pm 0,5$; $+4$; $+5^\circ\text{C}$). В горных районах области ММП, в которых, начиная с подножия, температура пород ниже $-0,5^\circ\text{C}$, структура τ_K^Φ СТП сложная во всех высотных поясах. Если температура пород у подножия 0°C или $+0,5^\circ\text{C}$, наблюдается смена переходной структуры τ_K^Φ СТП сложной. Полная гамма типов, подтипов и видов структуры τ_K^Φ СТП свойственна южным горным районам

Таблица 12

Классификация структуры календарного периода формирования сезонноталых пород (τ_K^Φ) СТП

Тип	Подтип	Вид	Соотношение числа зим (n) с разной структурой τ_K^Φ
Простой $\tau_K^{\Phi пр}$	—	—	$\tau_K^\Phi = \tau_{пр}^\Phi$
Переходный $\tau_K^{\Phi п}$	Южный $\tau_K^{\Phi ю}$	—	$n(\tau_K^\Phi = \tau_{пр}^\Phi) > n(\tau_K^\Phi = \tau_{пр}^\Phi + \tau_o^\Phi)$
	Северный $\tau_K^{\Phi с}$	—	$n(\tau_K^\Phi = \tau_{пр}^\Phi) \leq n(\tau_K^\Phi = \tau_{пр}^\Phi + \tau_o^\Phi)$
Сложный $\tau_K^{\Phi с}$	Двухкомпонентный $\tau_K^{\Phi 2с}$	—	$\tau_K^\Phi = \tau_{пр}^\Phi + \tau_o^\Phi$
	Промежуточный $\tau_K^{\Phi сп}$	Южный $\tau_K^{\Phi сп ю}$	$n(\tau_K^\Phi = \tau_{пр}^\Phi + \tau_o^\Phi) > n(\tau_K^\Phi = \tau_{пр}^\Phi + \tau_o^\Phi + \tau_{п}^\Phi)$
		Северный $\tau_K^{\Phi сп с}$	$n(\tau_K^\Phi = \tau_{пр}^\Phi + \tau_o^\Phi) \leq n(\tau_K^\Phi = \tau_{пр}^\Phi + \tau_o^\Phi + \tau_{п}^\Phi)$
Трехкомпонентный $\tau_K^{\Phi 3с}$	—	$\tau_K^\Phi = \tau_{пр}^\Phi + \tau_o^\Phi + \tau_{п}^\Phi$	

с континентальной геокриологической поясностью, когда ММП с температурой 0, -0,5° С и ниже развиты только в верхнем поясе гор или в нижнем и верхнем при отсутствии в среднем.

На карте-схеме структуры τ_k^{Φ} СТП (см. рис. 25) мы попытались показать основные зональные особенности ее на территории СССР. Четко видны не только закономерности ее изменения с юга на север и с возрастанием высоты в горных районах юга, но и основные различия структуры τ_k^{Φ} СТП в разных регионах СССР. С запада на восток убывает роль простой и возрастает значение сложной, особенно трехкомпонентной структуры τ_k^{Φ} СТП. В Европейской части последняя свойственна лишь островам Новая Земля, Земля Франца-Иосифа и др. Резко преобладает простая структура τ_k^{Φ} СТП, характерная для большей южной части. В Западной Сибири сложная трехкомпонентная структура τ_k^{Φ} СТП свойственна не только арктическим островам, но и всей полуостровной части. На юге Западной Сибири, в Казахстане, Средней Азии (кроме горных районов) доминирует простая структура τ_k^{Φ} СТП. Между подзоной трехкомпонентной и зоной простой структуры τ_k^{Φ} СТП располагается зона переходной и остальные подзоны сложной структуры τ_k^{Φ} СТП. Из них наиболее развита подзона южного переходного вида структуры τ_k^{Φ} СТП.

В Восточной Сибири и на Северо-Востоке резко возрастает роль сложной трехкомпонентной и промежуточной структуры τ_k^{Φ} СТП при отсутствии простой. Последняя свойственна лишь крайнему югу Приморья и Сахалина. На Камчатке доминирует переходная структура τ_k^{Φ} СТП; сложная, вплоть до трехкомпонентной, возможна лишь в высокогорьях с низкотемпературными ММП. В горах юга Сибири структура τ_k^{Φ} СТП столь же многообразна, как и τ_k^{Φ} СМП. При столь мелком масштабе карты можно показать лишь возможную в том или ином горном районе гамму структур τ_k^{Φ} СТП от подножий к вершинам без оконтуривания в большинстве случаев поясов с конкретным ее типом, как это сделано и при отображении структуры τ_k^{Φ} СМП.

Таким образом, структура τ_k^{Φ} СТП столь же зональна и многообразна, как и структура τ_k^{Φ} СМП, но закономерности ее изменения противоположны, а комплекс типов, подтипов и видов в любом регионе иной, чем структуры τ_k^{Φ} СМП.

Сравнение табл. 10 и 12 показывает формальное сходство общей классификации τ_k^{Φ} СТП и τ_k сезонного протаивания. По сути своей они разные главным образом из-за разной дискретности этих процессов. Лишь при проявлении только прямого протаивания (северная зона, северная подзона средней зоны и отдельные горные районы) или только возвратного (отдельные участки южных районов) структуры τ_k^{Φ} СТП и τ_k сезонного протаивания совпадают. На остальной территории СССР при сложной двухкомпонентной структуре τ_k прямого и возвратного протаивания структура τ_k^{Φ} СТП может быть простой вследствие несовпадения во времени остановок прямого и возвратного протаивания. Так, в г. Тюмени, по данным АГМС "Опытное поле", 13-14.IV 1966 г. глубина прямого протаивания не изменилась, а возвратного увеличилась на 3 см (нижняя граница мерзлого горизонта поднялась с 86 на 83 см). Но с 14 по 17.IV не проявлялось возвратного протаивания, скорость же прямого была 2-3 см/сут. Это обеспечивало непрерывное формирование СТП, несмотря на остановки то прямого, то возвратного протаивания. Дискретность формирования СТП, по-видимому, в основном меньше раздельной дискретности каждой модификации сезонного протаивания при их совокупном проявлении. Несовпадение структур τ_k^{Φ} СТП и τ_k сезонного протаивания ведет к несовпадению границ территорий с одинаковыми по названию доминирующими их типами, подтипами и видами.

Скорость формирования СТП также может быть меньше, одинакова со скоростью сезонного протаивания и превышать ее. Последнее наблюдается в южной, реже в средней зоне в силу двух причин. Первая — сопряженное проявление прямого и возвратного протаивания на протяжении всего их календарного периода или его части. Скорость формирования СТП в этом случае равна сумме скоростей прямого и возвратного прота-

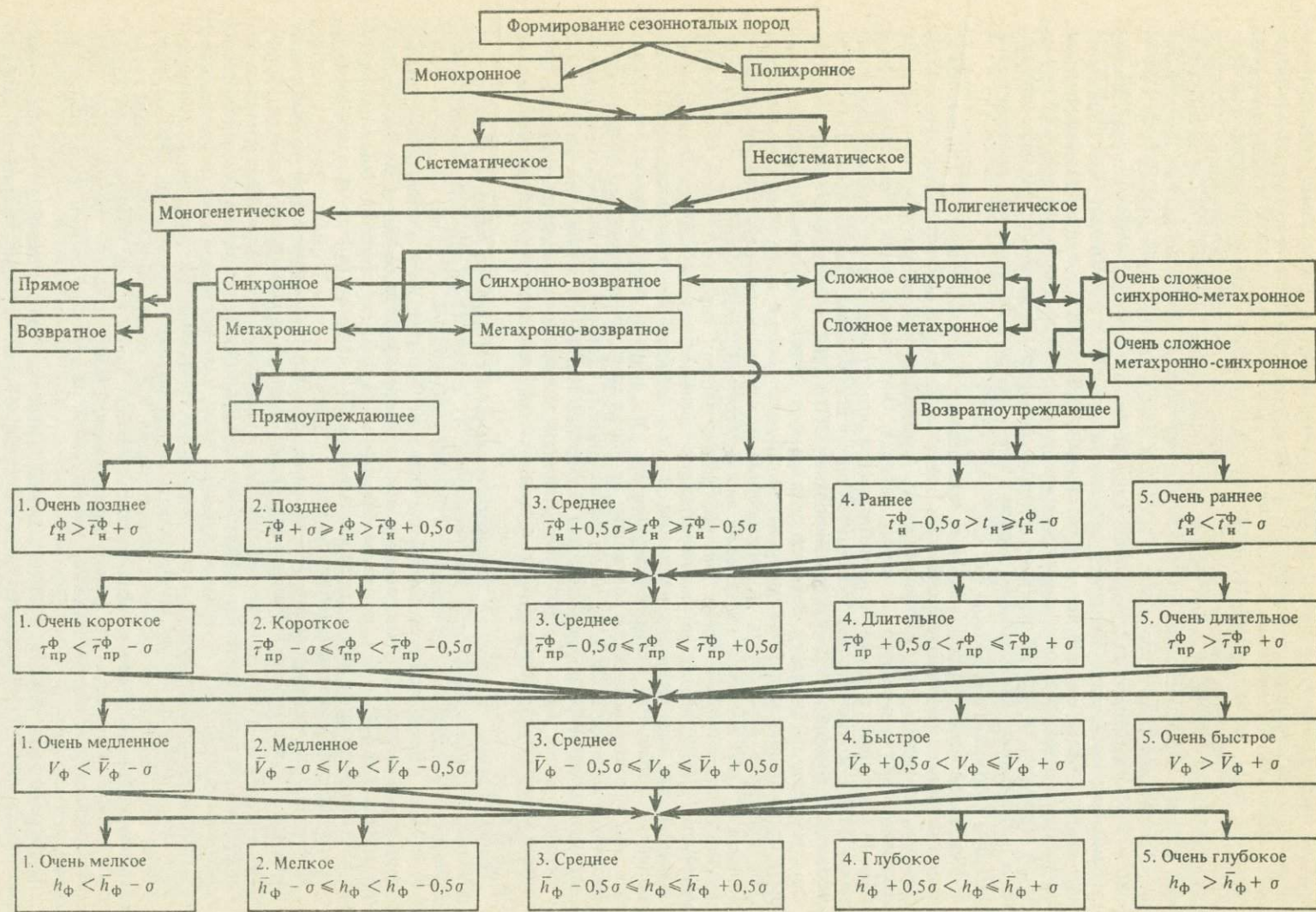
ивания. Вторая причина — варьирование глубины сезонного промерзания и протаивания во времени, приводящее к формированию не только мерзлого, но и талого остаточного горизонта, промерзание, а следовательно, и протаивание которого наблюдается не реже чем один год за репрезентативный период, принятый равным 30 годам. В зависимости от соотношения начала прямого и возвратного протаивания изменение скорости формирования СТП во времени разное. В крайней южной подзоне с более ранним началом возвратного протаивания она максимальная в самом начале вследствие присоединения остаточного талого горизонта и в самом конце периода протаивания ($V_1^{\Phi} > V_2^{\Phi} < V_3^{\Phi}$). То же наблюдается в подзоне с одновременным началом прямого и возвратного протаивания, но начальная скорость формирования СТП в ней больше, чем в предыдущей подзоне, из-за участия прямого протаивания. В подзоне с более поздним началом возвратного сезонного протаивания максимальная скорость формирования СТП приходится примерно на первую половину периода, совпадая по времени с началом возвратного протаивания; минимальная скорость наблюдается в самом начале периода протаивания и возрастает в его конце ($V_1^{\Phi} < V_2^{\Phi} > V_3^{\Phi} < V_4^{\Phi}$).

В северной зоне скорости сезонного протаивания и формирования СТП не совпадают на протяжении всего периода проявления этих процессов и одинаково непостоянны во времени, изменяясь под влиянием целого комплекса природных факторов. Преимущественно они уменьшаются к концу периода. Остаточного талого горизонта в этой зоне не возникает, а потому и не наблюдается резкого увеличения скорости формирования СТП в конце периода. Последнее больше свойственно средней зоне, в основном ее южной подзоне, где скорость формирования СТП в конце периода благодаря этому резко отличается от скорости прямого протаивания. Остаточный талый горизонт может быть сформирован в предшествующий теплый сезон, если в зиму перед ним мощность СМП достигала максимума за многолетний период ее колебаний. При уменьшении мощности СМП в течение нескольких зим остаточный талый горизонт — результат сезонного протаивания пород за несколько теплых сезонов. Резкое увеличение мощности СМП, но не до максимального значения, обуславливает большие расхождения во времени формирования талого остаточного горизонта СТП и их верхнего горизонта, сформировавшегося в данный теплый сезон, а следовательно, и различие свойств слагающих их пород даже при однородном составе. Если увеличение мощности СМП, но не до максимального значения, сменяется резким уменьшением мощности СТП, возникают два остаточных горизонта: талый в самом низу СТП и мерзлый выше него. Тогда СТП приобретают слоистое разобценное строение. Это должно наблюдаться в средней зоне, в ее южной подзоне, ограниченной геоизотермами 0 и +0,5° С.

Таким образом, в северной зоне формирование СТП наиболее простое. В их вертикальном профиле выделяются два горизонта: 1) верхний ежегодно-сезонноталый, образующийся каждый год, по мощности равный минимальной за 30 лет мощности СТП, и 2) нижний периодически-сезонноталый горизонт, одновозрастный с верхним, формирующийся не ежегодно, по мощности равный разнице между максимальной и минимальной мощностью СТП за тот же период. На отдельных участках северной зоны, где сезонное протаивание пород наблюдается не ежегодно, СТП целиком относятся к периодическим или несистематическим монохронным.

В южной зоне формирование СТП сложнее. В их профиле различаются не два, а три горизонта: 1) верхний ежегодно-сезонноталый, равный минимальной за 30 лет мощности СМП за вычетом высоты их пучения, 2) средний периодически-сезонноталый, синхронный по формированию с верхним, по мощности в любой год равный разнице между мощностью СМП в предшествующую зиму и минимальной — за репрезентативный период за вычетом осадки этого горизонта при протаивании; предельная его мощность равна разнице между максимальной и минимальной мощностью СМП за этот период, уменьшенной на величину осадки пород, и 3) остаточный нижний талый горизонт, метасинхронный с двумя верхними, отсутствует лишь в год максимальной мощности СМП. Мощность его равна разнице между максимальной мощностью СМП и их мощностью в год наблюдений, уменьшенной на величину осадки пород при оттаивании.

В средней зоне области СТП остаточный талый горизонт, а значит, и полихронное формирование СТП наблюдаются лишь в отдельные годы, т.е. несистематически, особен-



но редко в ее северной подзоне. В результате здесь в профиле СТП в одни годы прослеживаются два горизонта, как в северной зоне, в другие — три, как в южной зоне.

Следовательно, процесс формирования деградационной фазы СКП столь же неоднороден, как и аградационной фазы. Это делает необходимой его систематику, без которой невозможно ни рациональное его изучение, ни правильная информативная картографическая интерпретация его основных особенностей, а следовательно, и генетических особенностей СТП.

ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СЕЗОННОТАЛЫХ ПОРОД

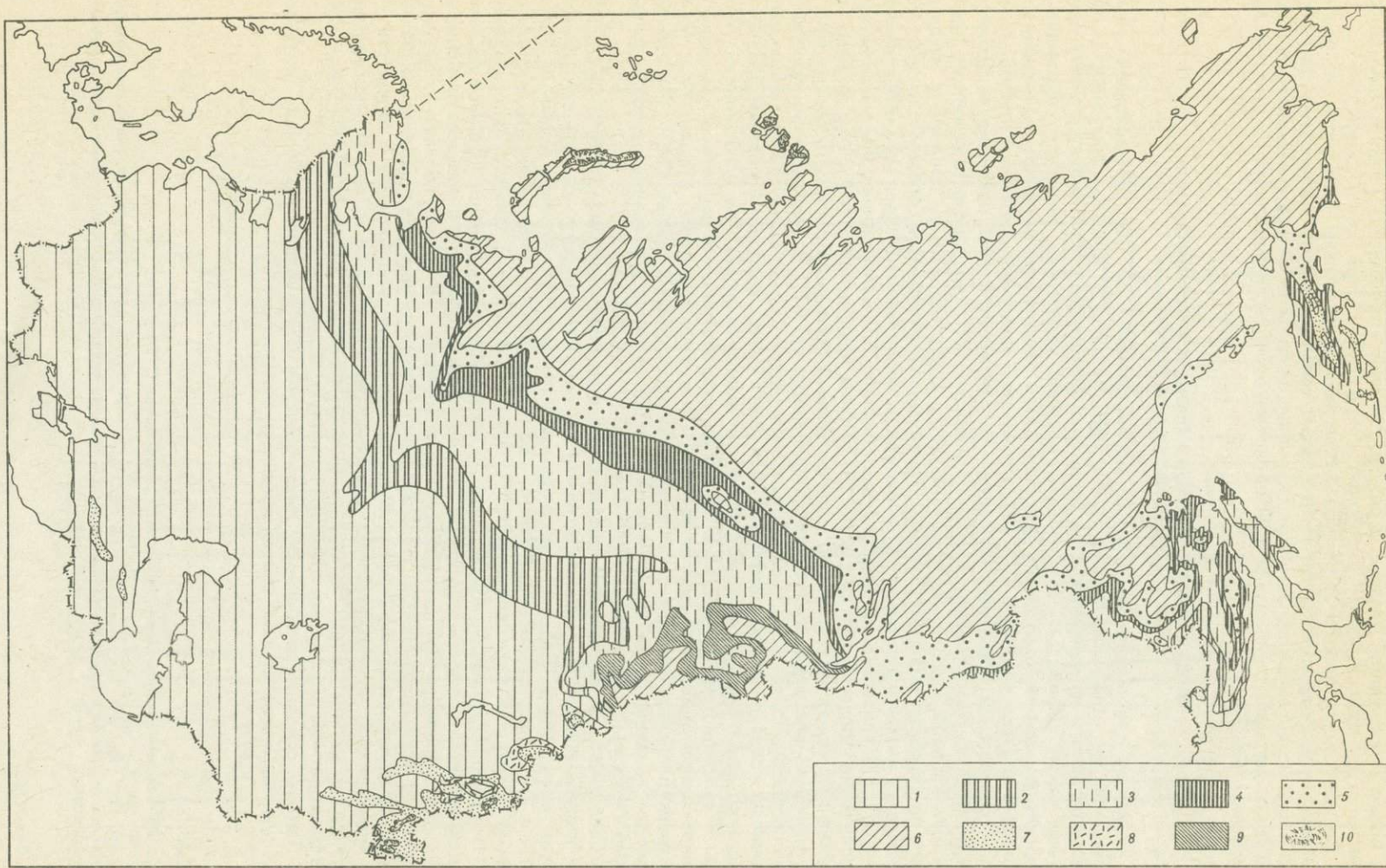
В основу классификации процесса формирования СТП (рис. 26) положены те же принципы, что и процесса формирования СМП, но с учетом основных особенностей процесса сезонного протаивания, а не сезонного промерзания. Классификационных признаков также девять: 1) соотношение времени проявления сезонного протаивания пород и времени их включения в состав СТП, позволяющее различать монокронное и полихронное формирование СТП; 2) особенности временной динамики глубины сезонного промерзания и протаивания пород и 3) связанная с ними ритмичность формирования СТП (систематическое, несистематическое); 4) направленность сезонного протаивания (прямое, обратное, сочетание того и другого); 5) роль прямого и обратного протаивания в формировании СТП, определяемая главным образом соотношением сроков их начала и длительностью периодов их проявления; 6) срок начала формирования СТП; 7) длительность периода формирования СТП: календарного или фактического проявления процесса; 8) скорость; 9) глубина проявления этого процесса. Пять качественных признаков и четыре количественных позволили построить общую многоступенчатую классификацию процесса формирования СТП, отражающую их природное многообразие. Внешне она сходна с классификацией формирования СМП, но для одноименных градаций формирования СТП и СМП нужны совершенно разные условия и территориально они не совпадают, так как в основе их лежит учет особенностей р а з н ы х литокриогенных процессов. Поэтому, хотя оба процесса одинаково зональны, закономерности изменения формирования СТП со сменой широты и высоты места диаметрально противоположны изменениям процесса формирования СМП; чем сложнее становится первый, тем проще второй. Это четко видно при сравнении составленных нами карт-схем формирования СМП (см. рис. 11) и СТП (рис. 27).

Сведений о количественных показателях процесса формирования СТП, как и сезонного протаивания пород, особенно обратного, пока практически нет, хотя есть возможность их получить. Для этого необходима статистическая обработка данных ГМС и АГМС. В классификации они заменены теми же по смыслу индексами, что и количественные показатели формирования СМП. При характеристике процесса формирования СТП по количественным показателям также возможно применение балльной системы, рассмотренной в главе II. Учет количественных показателей этого процесса особенно важен для выявления его региональных особенностей. В области близко залегающих ММП, где формирование СТП только монокронное, их изменение во времени выражено наиболее ярко вследствие почти ежегодного изменения мощности СТП. Мощность полихронных СТП во времени очень устойчива, меняется лишь от одного многолетнего периода к другому. Применительно к полихронным СТП более целесообразно изучать не многолетнюю временную, а пространственную ее динамику.

Таковы основные особенности формирования СТП, предопределяющие их генетическую неоднородность как литокриогенного образования.

Рис. 26. Общая классификация процесса формирования СТП

t_n^{Φ} , $\tau_{пр}^{\Phi}$, v_{Φ} , h_{Φ} — частные и \bar{t}_n^{Φ} , $\bar{\tau}_{пр}^{\Phi}$, \bar{v}_{Φ} , \bar{h}_{Φ} — средние многолетние значения начала, длительности периода, скорости и глубины проявления; σ — среднее квадратическое отклонение частных значений от среднего



ОСОБЕННОСТИ ДЕГРАДАЦИОННОЙ ФАЗЫ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД И ИХ ОБЩАЯ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЕЗОННОТАЛЫХ ПОРОД

Сезонноталые породы не возникают, если им не предшествовало развитие сезонно-мерзлых пород, однако по особенностям распространения на земном шаре и устойчивости во времени они отличны от СМП. Совпадают в основном южные границы области их развития в целом, но не совпадают границы зон и подзон с одинаковыми типами и подтипами их распространения. Такой вывод можно сделать даже при отсутствии до сих пор карт, отображающих распространение СМП и СТП. Причина этого в специфике несистематических СМП и СТП. В южной части области их развития несистематическими образованиями являются только СМП, а СТП здесь весьма устойчивы. Если порода за 30 лет хотя бы раз сезонно промерзла и протаяла, она считается сезонноталой, даже если в остальные холодные сезоны этого периода она не промерзала. Проявление процессов сезонного промерзания и протаивания пород и существование СМП здесь периодические, а СТП — явление постоянное; последние более стабильны во времени, что предопределяет большую устойчивость характера их распространения. Вообще в природе, даже в северных районах, крайне редко наблюдается сочетание условий, полностью исключающее сезонное протаивание пород, а сочетание их, исключающее сезонное промерзание, далеко не редкость, особенно в южных районах. Именно это позволяет сделать вывод о несовпадении границ зон и подзон с одинаковыми типами и подтипами распространения СТП и СМП, о более широком развитии деградационной фазы СКП в любой год, кроме года с максимальным по площади проявлением сезонного промерзания. Правда, поскольку на земном шаре в целом, на разных континентах и даже в крупных регионах проявление такого промерзания преимущественно приходится на разные зимы, то можно считать, что большее или меньшее расхождение границ этих зон и подзон СМП и СТП, а также южной границы области их развития наблюдается практически ежегодно, с разным знаком на разных территориях. Как указывалось, монохронные СМП южной части области очень динамичны во времени и пространстве, что обуславливает почти ежегодные колебания южной границы области их распространения. Большая устойчивость южной границы области СТП, соответствующая наиболее южному проявлению сезонного промерзания пород в любой год из 30-летнего периода, предопределяет практически ежегодные расхождения южных границ областей СМП и СТП.

За исключением указанного некоторого смещения границ зон и подзон, общие закономерности изменения характера распространения СТП те же, что и СМП, несмотря на противоположные закономерности изменения процессов их формирования. С юга на север площадь СТП растет, а распространение меняется от редко- и частоостровного до сплошного. Сходен характер высотной поясности в изменении распространения СМП и СТП. Чем благоприятнее становятся условия сезонного промерзания и шире развитие СМП, тем больше площадь СТП и меньше их прерывистость. Это объясняется большой устойчивостью во времени процесса сезонного протаивания даже в крайних северных районах. Лишь на участках многолетних наледей и снежников, а в горах в местах подвижек концов ледников, если эти образования на данных участках существуют менее

Рис. 27. Карта-схема формирования СТП. Составила Втюрина Е.А.

Южная зона: систематическое полихронное слитное полигенетическое формирование СТП: 1 — южная подзона: метакронное возвратноупреждающее; 2 — средняя подзона: синхронное; 3 — северная подзона: метакронное прямоупреждающее. Переходная зона: 4 — южная подзона: несистематическое частое полихронное, реже монохронное, преимущественно слитное, реже полигенетическое прямоупреждающее; 5 — северная подзона: монохронное, реже полихронное слитное и разобценное моногенетическое. Северная зона: 6 — систематическое монохронное моногенетическое. Сочетания: 7 — полихронного слитного и разобценного, моногенетического и монохронного, меняющихся с высотой; 8 — всех подтипов систематического полихронного слитного полигенетического формирования СТП и несистематического частого полихронного, моногенетического, слитного, реже разобценного, меняющихся с высотой; 9 — поли- и монохронного поли- и моногенетического, слитного и разобценного, меняющихся с высотой. 10 — ледники

30 лет, наблюдаются перерывы в проявлении сезонного протаивания горных пород. Его здесь временно заменяет таяние льда и снега летом. В целом это очень локальные участки, неспособные сколько-нибудь заметно повлиять на общие закономерности распространения СТП, хотя в региональном плане они должны учитываться.

МОЩНОСТЬ СЕЗОННОТАЛЫХ ПОРОД

Неоднородность формирования СТП — причина разного, как и применительно к СМП, определения понятия "мощность СТП" для разных частей области их распространения. В северной зоне, где формирование СТП только монохронное, мощность СТП — это мощность верхнего горизонта пород, ограниченного в любой год дневной поверхностью и верхней поверхностью мерзлых пород в момент завершения сезонного протаивания. Численно она здесь каждый год равна глубине сезонного протаивания пород за вычетом их осадки при этом и столь же непостоянна во времени. В южной зоне области распространения СТП, где формирование их полихронное, под мощностью СТП следует понимать мощность верхнего горизонта талых пород, ограниченного дневной поверхностью и максимальной за многолетний период глубиной сезонного промерзания. Численно она равна максимальной за 30 лет мощности СМП, уменьшенной на величину их осадки при оттаивании. Следовательно, при полихронном формировании СТП мощность их определяется суммарной мощностью верхнего монохронного и остаточного талого горизонтов и очень устойчива во времени (изменяется лишь один раз за 30 лет). В южной подзоне средней зоны области СТП в годы без формирования мерзлого остаточного горизонта мощность СТП определяется так же, как и в южной зоне, — по максимальной за многолетний период мощности СМП за вычетом их осадки при оттаивании, а в годы с развитием остаточного мерзлого горизонта — так же, как в области близко залегающих ММП, по ежегодной глубине сезонного протаивания пород, уменьшенной на величину их осадки.

Таким образом, неоднородность формирования СТП является причиной не только различия в определении понятия "мощность СТП", но и неодинаковой временной устойчивости ее в разных зонах. Наиболее устойчива она в южной зоне: меняется один раз за 30 лет, наименее — в северной: меняется почти ежегодно.

Промежуточное положение занимает средняя зона, где мощность СТП меняется не столь редко, как в южной, но и не столь часто, как в северной. Следовательно, временная устойчивость мощности СТП так же зональна, как и мощности СМП, но закономерности ее изменения противоположны: не возрастает, а уменьшается с юга на север.

С учетом указанных различий все сказанное об определении мощности СМП в равной мере относится и к мощности СТП, а потому мы не будем останавливаться на анализе и оценке имеющихся фактических материалов. Укажем лишь, что в настоящее время из-за краткости рядов наблюдений даже в системе АГМС и ГМС возможно определение преимущественно условной абсолютной мощности СТП за сравнимый период в конкретных районах, но пока трудно говорить об ее изменениях в пространстве, кроме самых общих их закономерностей. Они сходны с общими закономерностями изменения мощности СМП: максимальная мощность СТП в средней зоне, к северу и югу она уменьшается, причем в отличие от СМП к северу более резко, чем к югу. Общие критические пределы мощности СТП те же, что СМП, — от 0,10—0,15 до 4—6 м. В каждом конкретном районе они свои, отличные от общих, зависят от его положения и комплекса природных факторов.

Картографирование любой территории по мощности СТП столь же сложно, как и по мощности СМП, по одним и тем же вполне объективным причинам: различие понятия "мощность СТП" в разных зонах и разная методика ее определения, краткость рядов наблюдений, их частая несравнимость, большая разреженность сети АГМС и ГМС в северной зоне, одновременность экспедиционных данных о мощности СТП в области ММП, отсутствие сведений об осадке протаивающих пород вне ее и т.д. Сейчас ясно лишь, что, несмотря на сходство общих закономерностей изменения, мощности СМП и СТП на одной и той же территории редко совпадают. Это наблюдается в основном лишь в год максимальной мощности непучинистых СМП в южной и отчасти средней зонах и в год максимальной мощности непучинистых СТП в северной зоне и частично в средней. Но поскольку максимальные мощности таких СМП и СТП приходится на разные годы на различных территориях, нередко даже близко расположенных, то в целом по области СТП

их мощность практически никогда не совпадает с мощностью СМП. В южной зоне она в основном больше мощности СМП на величину остаточного талого горизонта за вычетом осадки при оттаивании, а в северной — меньше ее на величину остаточного мерзлого горизонта. Наиболее близки их значения в средней зоне, но и здесь формирование то мерзлого, то талого остаточного горизонта или того и другого, а также криогенное пучение и осадка при оттаивании обуславливают их различия. Отсюда карты мощности СТП и СМП для одной и той же территории — разные, для какого бы периода времени они ни составлялись.

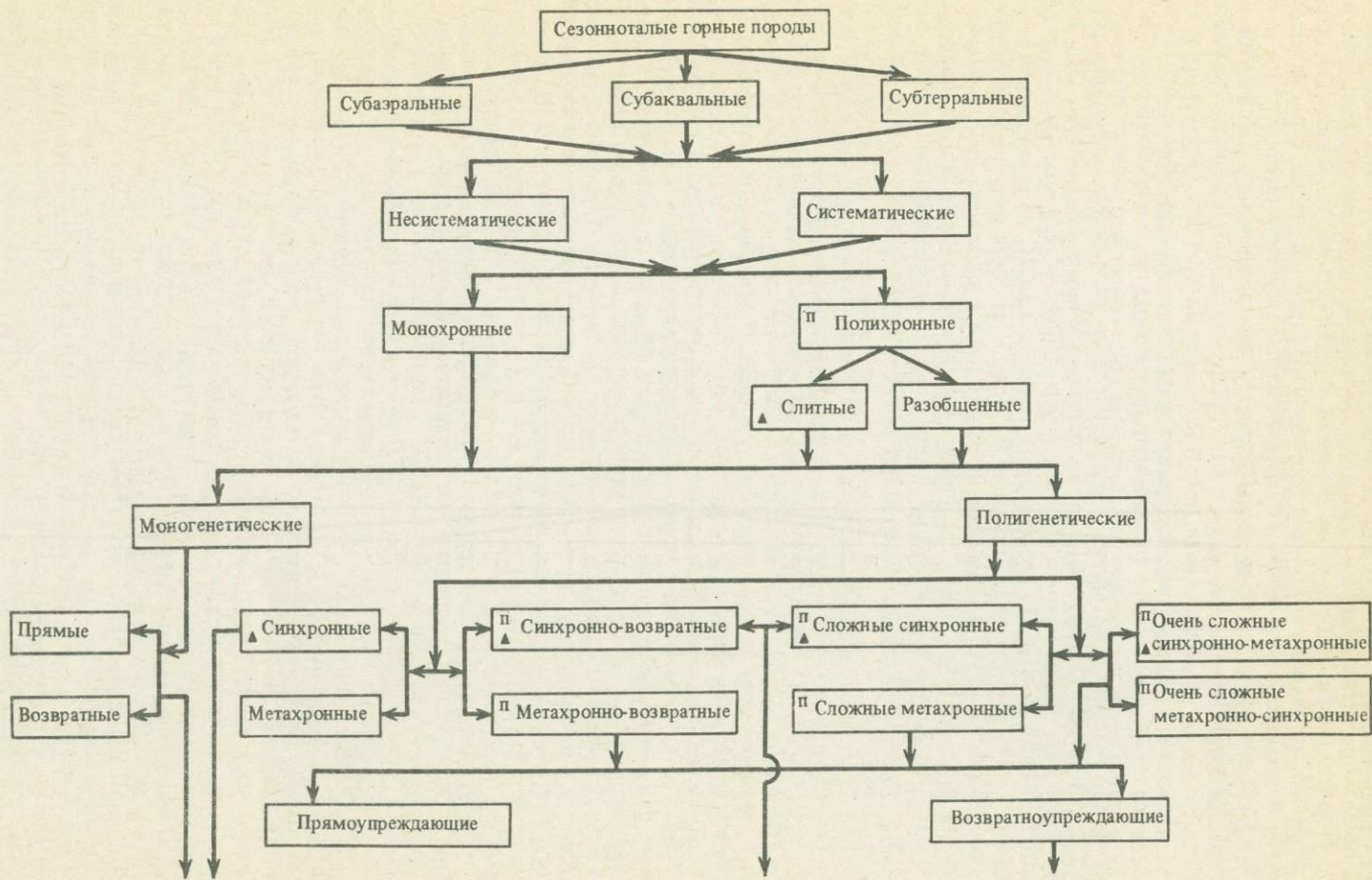
ОБЩАЯ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЕЗОННОТАЛЫХ ПОРОД

В основу систематики СТП нами положены те же, по существу, принципы, что и для СМП, а потому и классификации их по форме во многом сходны (рис. 28). В зависимости от среды формирования СТП также делятся на: 1) субазральные, 2) субквальные и 3) субтерральные. По особенностям проявления СТП во времени каждая из этих градаций I ранга делится на две градации II ранга: 1) систематические СТП, образующиеся ежегодно, и 2) несистематические, формирующиеся на данном участке лишь в годы с наиболее благоприятными для сезонного протаивания условиями. Если несистематические СМП свойственны в основном южной зоне, то несистематические СТП, встречающиеся значительно реже, — только северной зоне и высокогорьям с ледниками и летующими снежниками.

Неоднородность способа формирования СТП столь же велика, как и СМП, что позволяет разделить их по этому признаку на ряд градаций, по числу и названиям сходных с градациями СМП: 1) монохронные и 2) полихронные, дополнительно делящиеся на а) слитные и б) разобщенные. В отличие от СМП монохронные СТП свойственны не южной, а северной зоне, а полихронные — южной. Разобщенные полихронные СТП чаще встречаются в южной подзоне средней зоны, а не в северной.

Неоднородность сезонного протаивания пород, участие в формировании СТП не только прямого, но и возвратного протаивания позволяют разделить их на: 1) моногенетические, формирующиеся при однонаправленном процессе протаивания, и 2) полигенетические, формирующиеся при проявлении и прямого, и возвратного протаивания. Первые в зависимости от направления протаивания делятся: на 1) прямые и 2) возвратные, а вторые в зависимости от соотношения сроков начала прямого и возвратного сезонного протаивания как при формировании верхней части полихронных СТП, так и их остаточного талого горизонта — на те же по названию шесть градаций, что и СМП, но усложняющихся не к северу, а к югу. Каждые метахронные СТП дополнительно делятся на: 1) прямоупреждающие, если прямое сезонное протаивание начинается раньше возвратного и 2) возвратноупреждающие, если возвратное начинается раньше прямого.

Следующие несколько рангов градаций должны выделяться с учетом особенностей сезонного посткриогенного строения СТП при наличии его классификации. Но, как известно, специальных исследований посткриогенного строения пока никем не проводилось и классификаций его нет. А потому мы не можем отразить его в общей морфогенетической классификации СТП. Последние четыре таксона количественные. В зависимости от степени изученности, практической и научной необходимости каждый из них может быть поделен на пять или на три (без учета двух крайних) градации. Критериями градаций трех нижних таксонов служит частное значение показателя (M — мощность СТП, W — среднелетняя влажность и $t_{сг}$ — среднелетняя температура СТП) и его отклонение от среднего многолетнего значения на величину большую, меньшую или равную среднему квадратическому отклонению σ . Преимущества такого назначения их пределов те же, что и для СМП: это позволяет вскрыть не только общие, но и частные, региональные особенности их временной и пространственной изменчивости. Здесь также возможно применение балльной системы. Следует отметить, что каждый из этих трех показателей еще очень слабо изучен: многолетние материалы ГМС и АГМС по ходу протаивания практически не обработаны, среднелетняя температура СТП не рассчитана, хотя материалы для этого имеются, режимные наблюдения за влажностью пород ведутся лишь на части АГМС, причем только до глубины 1 м. Необходима новая методика обработки этих данных ГМС и АГМС, пока еще не созданная, чтобы использовать их для характеристики и классификации СТП. Материалы ГМС и АГМС и в данном случае — эталонные, бо-



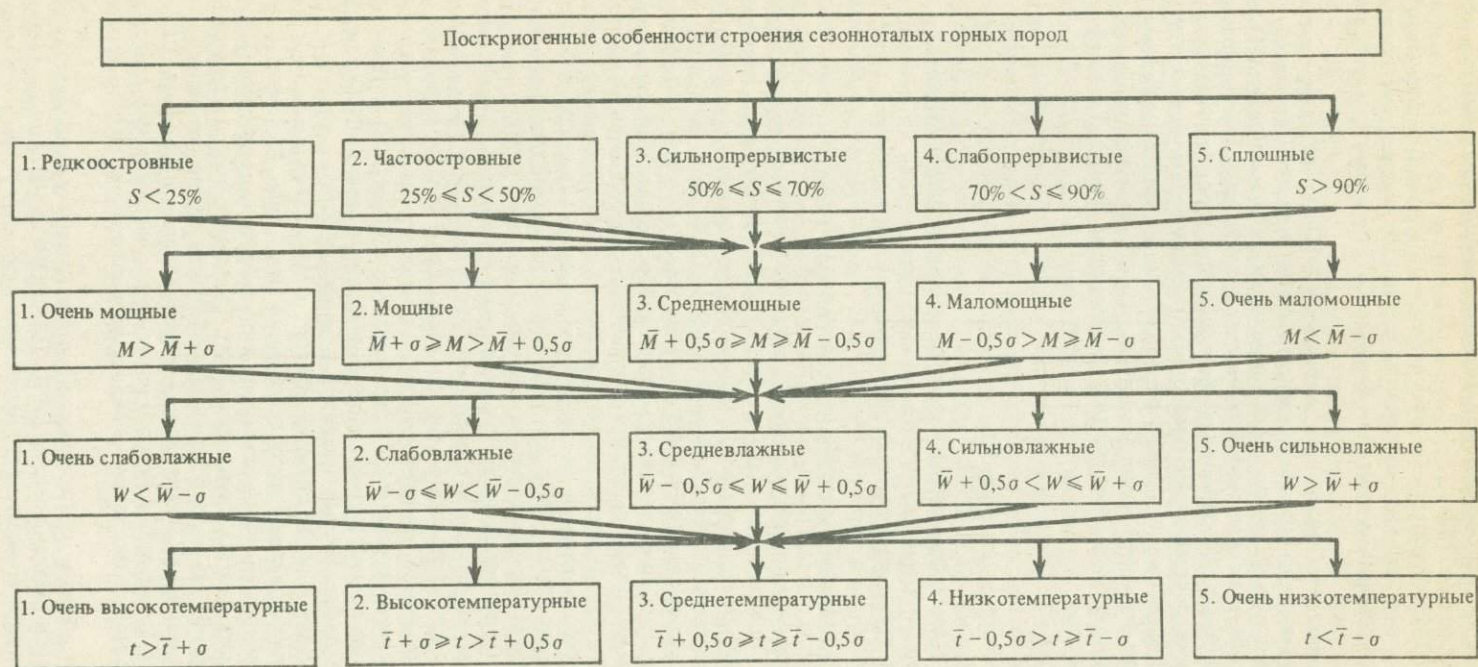


Рис. 28. Общая морфогенетическая классификация СТП

S — площадь СТП, % от общей площади участка, зоны; M , W , t — частные и \bar{M} , \bar{W} , \bar{t} — средние многолетние значения мощности, влажности и температуры СТП; σ — среднее квадратическое отклонение частных значений от среднего

лее или менее длиннорядные. Без их правильной обработки невозможно в большинстве случаев использование разовых, разновременных экспедиционных сведений по количественным показателям СТП, как и СМП.

Единственный показатель СТП, по которому они делятся на градации с едиными количественными критериями — это характер их пространственного распространения, мало меняющийся во времени. Градации и критерии деления СТП по этому показателю те же, что и СМП.

Предложенная общая морфогенетическая классификация СТП может служить основой для их картографирования, районирования территории по целому комплексу их основных показателей. В зависимости от размера территории, изменчивости СТП в ее пределах, масштаба карты, целевых назначений в качестве принципов районирования могут быть использованы все классификационные принципы или определенная часть их. Во всех случаях использование составленной нами общей морфогенетической классификации СТП при картографировании их на любой территории повышает информативность такой карты, позволяет передать и получить больший объем информации об основных особенностях СТП, чем отображение только их мощности, неверно называемой глубиной сезонного протаивания.

ГЛАВА VII

ОСОБЕННОСТИ, ОБЩАЯ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИПЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД

Особенности сезоннокриогенных пород определяются особенностями их аградационной и деградационной фазы, поэтому при характеристике СКП необходимы сопряженный анализ и учет каждого качественного и количественного показателя, послужившего основой общих морфогенетических классификаций СМП и СТП (рис. 22 и 28). Это существенно осложняет как характеристику СКП в целом, так и их общую морфогенетическую классификацию не только вследствие неизбежного увеличения числа классификационных рангов, но и усложнения ряда качественных и изменения некоторых количественных показателей. Лишь часть характеристик СКП свойственна только аградационной или только деградационной их фазе. Таковы криогенное строение СКП и их льдистость. Классификации СМП и СКП (рис. 20) по этим признакам аналогичны. То же касается признаков, учет которых при классификации как СМП, так и СТП привел к выделению градаций (субазральные, субаквальные и субтерральные), одинаковых не только по названию, но и по пространственной привязке. Это также и градации СКП. Значительная часть классификационных градаций СМП и СТП совпадает по названию, но не по пространственной приуроченности. В одних случаях это некоторый сдвиг к северу или к югу границ одноименных зон и подзон СТП и СМП и нужно решить, какие из них следует принять за границы аналогичных зон и подзон СКП в целом, в других — полное их несовпадение. Первое касается деления СКП по характеру распространения. При единой границе области СМП и СТП, а значит, и СКП и общей классификации их по характеру распространения (см. табл. 6) границы зон и подзон СМП и СТП, выделенных по этому признаку, в основном не совпадают. Поэтому встает вопрос, какие из них считать границами СКП. Очевидно, что они совпадают с границами зон и подзон разных по распространению СТП, как более устойчивого во времени образования. Закономерности изменения характера распространения СКП и деление их по этому признаку те же, что и каждой из их фаз: с юга на север оно изменяется от редко- и остроостровного до часто- и редкопрерывистого и сплошного при тех же критериях градаций.

Мощность СКП для области их распространения в целом не совпадает с мощностью ни одной из их фаз, хотя классификация СКП, СТП и СМП по этому показателю одина, а основные закономерности изменения в пространстве сходны. Главные причины этого — образование мерзлого и талого остаточных горизонтов, неодинаковое в разные годы криогенное пучение пород.

Как указывалось, толщей СКП следует считать ту часть литокриосферы, в которой проявляется сезонный цикл промерзания—протаивания хотя бы один раз за 30 лет. Следовательно, положение нижней поверхности СКП в любой зоне определяется максимальной за 30 лет глубиной проявления этого цикла.

При определении мощности СКП, как и при определении глубины сезонного промерзания и протаивания пород, важно решить вопрос, в каком состоянии должны быть породы этого горизонта литосферы при измерении мощности СКП: полностью мерзлыми или полностью тальми. Применительно к мощности СКП правомерны оба варианта решения: мощность СКП можно измерять и при полностью талом и при полностью мерзлом их состоянии от дневной поверхности пород до максимальной за 30 лет глубины проявления в них сезонного цикла промерзания—протаивания. Разница в мощности СКП в зависимости от их теплового состояния равна величине криогенного пучения или осадки пород данного горизонта литосферы.

Для того чтобы избежать путаницы в определении мощности СКП, учитывая, что это литокриогенное образование, отдадим предпочтение мерзлому состоянию пород и будем считать абсолютной мощностью (M_a) СКП мощность горизонта литосферы, ограниченного дневной поверхностью пород и максимальной за 30 лет глубиной проявления сезонного цикла промерзания—протаивания и полностью находящегося в мерзлом состоянии. При таком подходе к определению мощности СКП из их состава не исключается ни один из слагающих их горизонтов, учитывается мощность как верхнего ежегодного и периодически-сезоннопромерзающего и протаивающего горизонта, так и остаточных горизонтов: талого или мерзлого, или того и другого.

Таким образом, вне области близко залегающих ММП мощность СКП одинакова с мощностью их аградационной фазы, а в ее пределах — с мощностью их деградационной фазы, увеличенной на высоту криогенного пучения СТП.

Временная устойчивость M_a СКП и закономерности ее изменения в пространстве существенно отличаются от таковых СМП и СТП. Она не возрастает с юга на север, как устойчивость мощности СМП, и не уменьшается в этом направлении, как устойчивость мощности СТП, но одинаково устойчива в любой части области СКП, меняясь примерно один раз за 30 лет.

В настоящее время имеющиеся данные позволяют указать предельные значения мощности СКП на современном этапе развития. На территории СССР, включающей практически все природные зоны и пояса, которым свойственны СКП, не отмечено глубины сезонного промерзания пород грубозернистого состава, превышающей 5—6 м, глинистых — более 3—4 м, а торфа 1—1,5 м. Следовательно, верхний предел M_a СКП не более 5—6 м при песчаном и более грубом составе, 3—4 м при глинистом и 1,0—1,5 м при торфяном. Поскольку природные условия не остаются неизменными в пределах области СКП, каждой ее зоне, району свойственны свои максимальные значения абсолютной мощности СКП, в основном отличающиеся от этих предельных.

Сложнее что-либо сказать о нижнем пределе M_a СКП, о ее минимальном за многолетний период значении. До сих пор мощность СМП анализировалась лишь применительно к зоне без ММП и районам их глубокого залегания, а мощность СТП — только применительно к области близко залегающих ММП. В первом случае минимальная мощность СМП считалась равной минимальной глубине сезонного промерзания, во втором — наименьшей глубине протаивания. Но нижний предел M_a СКП не определяется минимальной глубиной проявления этих ЛКП. При определении наименьшего значения M_a СКП необходимо учитывать не только мощность горизонта пород, промерзших за данный холодный сезон, но и мощность остаточного мерзлого горизонта СМП в области близко залегающих ММП и остаточного талого горизонта — вне ее. Мощность остаточного горизонта может быть не только соизмерима с мощностью промерзших за данный холодный сезон пород, но и превосходить ее в несколько раз, особенно мощность остаточного талого горизонта с учетом его пучения при промерзании. Это видно при сравнении мощности горизонта СКП с систематической ежегодной сменой фаз (M^{100}) с их условной абсолютной мощностью M_{ya} за многолетний период, меньший 30 лет (табл. 13).

Следовательно, знание минимальной за многолетний период глубины сезонного промерзания и протаивания пород мало что дает для установления минимального значения M_a СКП. Очевидно, что предельная минимальная абсолютная мощность СКП определяется наименьшим из максимальных значений мощности СМП или глубины

Таблица 13

Условная абсолютная мощность M_{ya} (см) сезоннокриогенных пород и мощность их верхнего ежегодно промерзающего и протаивающего горизонта M^{100} (см) в разных районах СССР

АГМС	Период наблюдений	M_{ya}	M^{100}	АГМС	Период наблюдений	M_{ya}	M^{100}
Коломыя	1951—1978	59	2	Кокпекты	1954—1975	126	36
Немчиновка	1951—1976	116	5	Поярково	1951—1978	255	161
Тобольск	1952—1978	190	78	Новосельское	1953—1978	148	65
Тюмень	1951—1978	177	69	Маргаритово	1951—1978	162	34
Уват	1954—1979	150	41	Новоалександровск	1956—1978	59	6
Омск	1951—1978	240	124				

сезонного протаивания пород за многолетний период. Одинаковым по составу СКП в разных зонах, поясах, областях, а также разным по составу СКП в одной и той же зоне, поясе и т.д. свойственны разные минимальные значения их абсолютной мощности. Пределная минимальная M_a СКП свойственна крайним южным и крайним северным районам и составляет не более 10—20 см, по-видимому, для любых разностей пород.

Исходя из общих закономерностей развития процессов сезонного промерзания и протаивания, можно уже сейчас качественно охарактеризовать основные закономерности изменения абсолютной мощности СКП в пространстве. Не вызывает сомнения, что M_a СКП — характеристика зональная, подчиняющаяся законам широтной зональности и высотной поясности. На ее изменениях ежегодной глубины промерзания и протаивания, более подверженной воздействию случайных факторов. Максимальных значений она должна достигать в средней зоне, ограниченной геоизотермами $\pm 0,5^\circ$, особенно в ее средней части, где температура пород близка к 0° . В области ММП с увеличением суровости природных условий возрастает лишь ее потенциально возможное значение, но реально она здесь ограничивается максимальной за период многолетних колебаний глубиной сезонного протаивания. Хотя потенциальная величина M_a СКП к северу неуклонно возрастает, реальная ее величина столь же неуклонно уменьшается в этом направлении вследствие уменьшения максимальной глубины сезонного протаивания пород. К югу от геоизотермы $+ 0,5^\circ$ M_a СКП также уменьшается, но вследствие уменьшения теплопотерь горных пород в холодный период и возрастания теплоприхода в них — в теплый.

В горных странах закономерности изменения M_a СКП более сложные. Они зависят от типа геокриологической поясности и теплового состояния пород. В районах с океанической поясностью в области ММП мощность СКП уменьшается с высотой, хотя, видимо, медленнее, чем на равнинах с юга на север, из-за возрастания грубозернистости пород и более медленного, вследствие этого, уменьшения глубины сезонного протаивания. Вне области ММП при таком типе поясности, наоборот, с высотой мощность СКП растет даже быстрее, чем на равнине с юга на север, по той же причине. После появления ММП в верхнем поясе гор с возрастанием высоты начинается уменьшение мощности СКП.

При континентальном типе поясности наименее суровые условия свойственны среднему поясу в основном от 800—900 до 1100—1200 м и изменение M_a СКП еще более сложное. Вне области ММП в среднем поясе гор она должна быть меньше, чем в нижнем и верхнем для пород того же состава, если в верхнем поясе нет ММП. В последнем случае в нем M_a СКП сначала возрастает, а затем начинает убывать с высотой, лимитируясь глубиной сезонного протаивания. В области ММП как при исчезновении мерзлой толщи в среднем поясе, так и при повышении в нем их температуры должно наблюдаться увеличение M_a СКП, более значительное при отсутствии здесь ММП. В верхнем поясе идет постепенное ее сокращение с высотой. Иная картина наблюдается при сплошном распространении ММП в горах, когда к их среднему поясу приурочены днища котловин. Стекающие сверху и концентрирующиеся здесь холодные массы воздуха обуславливают понижение температуры пород в котловинах и уменьшение M_a СКП в них по сравнению с выше- и нижележащими участками. Минимальны ее значения в верхнем поясе

высокогорий, где она уменьшается с высотой. В целом изменения ее в зависимости от высоты места и географического положения горного района сходны с таковыми СМП (см. рис. 14).

Таким образом, абсолютная мощность СКП убывает как с уменьшением охлаждения пород в холодный период, так и с его возрастанием при определенных критических значениях. Максимальных значений она достигает в том случае, когда глубины сезонного промерзания и протаивания близки к своей потенциально возможной величине или равны ей.

Определенные коррективы в эти общие закономерности изменения абсолютной мощности СКП вносит состав пород, который может уменьшить резкость изменений M_a СКП, а местами обусловить уменьшение ее вместо предполагаемого увеличения, как это наблюдается на участках мерзлых торфяников.

Классификация СКП по мощности, даже по M_{ya} , — дело будущего. Во-первых, пока нет необходимых для этого данных. Во-вторых, поскольку мощность СКП — величина устойчивая во времени, меняется примерно один раз за 30 лет, классификация их по мощности должна строиться на учете не временной, как глубины сезонного промерзания и протаивания пород, а лишь пространственной вариации. Следовательно, она должна быть единой для всей области СКП, что не может исказить реальные региональные ее особенности. Для построения классификации СКП по мощности, как и каждой из их фаз, необходима инвентаризация и статистическая обработка всех данных о мощности СКП (M_a или в силу необходимости M_{ya}), расчет ее среднего значения \bar{M}_a для области СКП и среднего квадратического отклонения σ ее частных значений от среднего. Это основа для построения классификации СКП по мощности, схема которой в условных индексах следующая:

Градация	Критерий
Очень мощные	$M_a > \bar{M}_a + \sigma$
Мощные	$\bar{M}_a + \sigma \geq M_a > \bar{M}_a + 0,5\sigma$
Среднемощные	$\bar{M}_a + 0,5\sigma \geq M_a \geq \bar{M}_a - 0,5\sigma$
Маломощные	$\bar{M}_a - 0,5\sigma > M_a \geq \bar{M}_a - \sigma$
Очень маломощные	$M_a < \bar{M}_a - \sigma$

Построению такой общей классификации в абсолютных количественных значениях должно предшествовать создание серии ее региональных вариантов. Однако уже сейчас, зная общий размах вариации M_a СКП и общие закономерности ее изменения в пространстве, можно как предварительную предложить следующую их классификацию по мощности в абсолютных количественных значениях:

Градация	Критерий, см
Очень мощные	$M_a > 300$
Мощные	$300 \geq M_a > 200$
Среднемощные	$200 \geq M_a \geq 100$
Маломощные	$100 > M_a \geq 50$
Очень маломощные	$M_a < 50$

Полное несовпадение границ характерно для одноименных зон и подзон СМП и СТП, выделяемых по их генетическим признакам, в силу противоположных закономерностей пространственных изменений процессов формирования СМП и СТП. Для познания генетического многообразия СКП необходим учет особенностей обеих фаз их развития. Это существенно осложняет генетическую характеристику СКП, требует одинаково детального знания закономерностей формирования СМП и СТП и таких определений и названий классификационных градаций процесса формирования СКП и их генетических градаций, которые бы отражали особенности обеих фаз СКП.

Рассмотрим процесс формирования СКП. В северной зоне он складывается из монохронного формирования их деградационной фазы и преимущественно полихронного — аградационной, подразделяющегося на ряд градаций более низкого ранга. В южной зоне, наоборот, наиболее сложно формирование деградационной фазы. Оно здесь преимущественно полихронное при монохронном аградационной фазы. Средняя зона в этом отношении занимает промежуточное положение. По-видимому, в названиях градаций процесса формирования СКП целесообразно отражать характер формирования той их фазы, у которой он наиболее сложный, полихронный. Следовательно, полихронное формирование СКП подразделяется на две градации, отсутствующие в классифи-

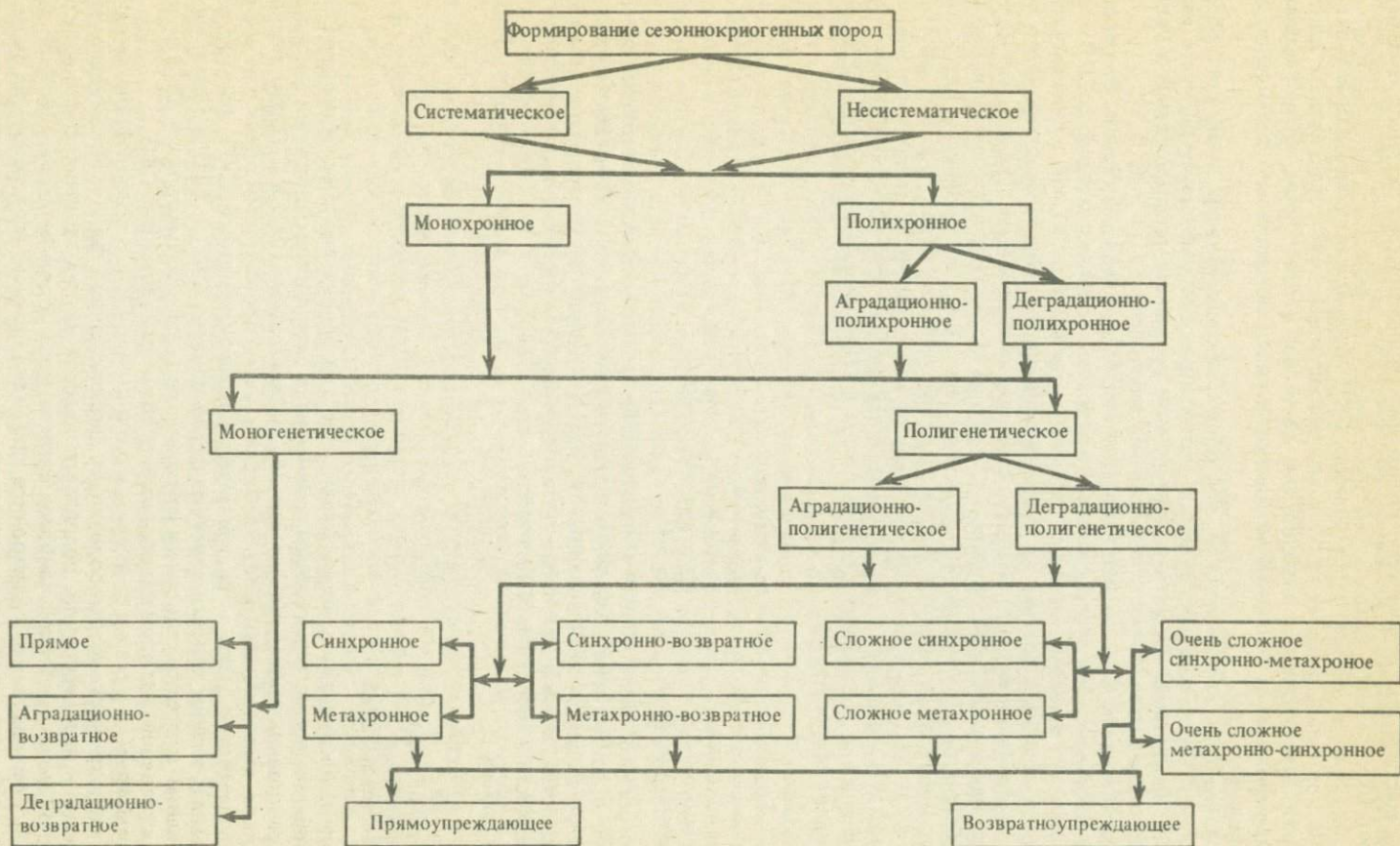


Рис. 29. Общая классификация процесса формирования СКП

кациях этого процесса для СМП и СТП: 1) аградационно-полихронное и 2) деградационно-полихронное. Монохронное формирование СКП наблюдается только в год максимальной за многолетний период глубины сезонного промерзания в южной зоне и протаивания — в северной, когда ни талый, ни мерзлый остаточный горизонт не участвуют в их формировании. Наиболее часто оно в средней зоне, где глубины сезонного промерзания и протаивания нередко разнятся лишь на величину пучения пород при промерзании.

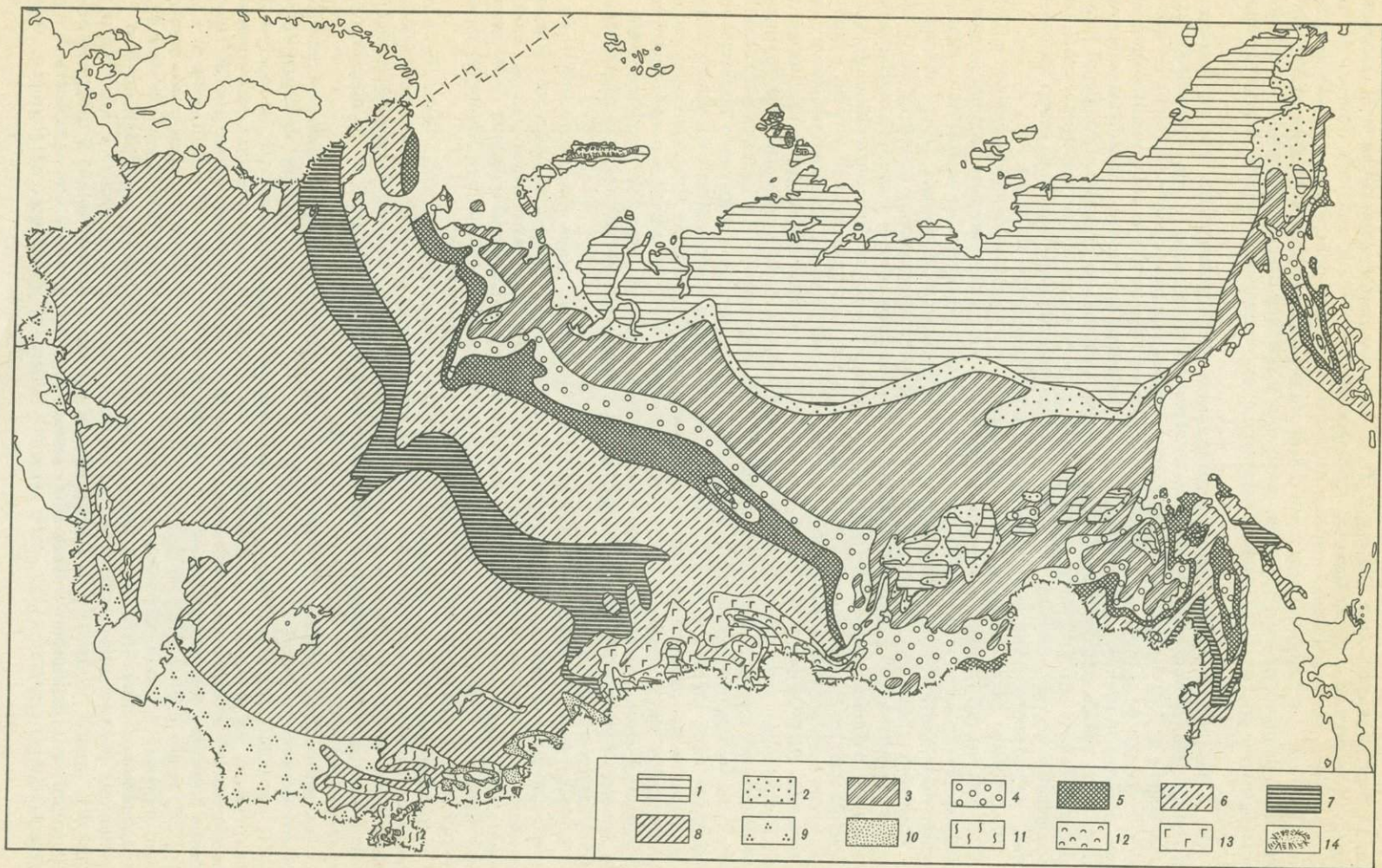
Как моно-, так и полихронное формирование СКП может быть систематическим, устойчиво наблюдающимся в течение многолетнего периода, и несистематическим. В последнем случае имеет место смена монохронного формирования СКП на полихронное или одного вида полихронного на другой. Наиболее часто это происходит в средней зоне, в которой процесс формирования СКП особенно неустойчив. Несистематическим может быть также формирование СКП в целом, а не только отдельных градаций этого процесса. Таким оно считается в том случае, если на какой-либо территории сезонное промерзание пород (крайний юг) или сезонное протаивание (крайний север, высокогорья) наблюдаются реже, чем в один соответствующий сезон за 30 лет.

Полихронное формирование СКП подразделяется на удвоенное по сравнению с СМП и СТП количество градаций, поскольку каждая из них дополнительно делится на две в зависимости от того, в какую из фаз оно наиболее сложное. Оно может быть аградационно-полигенетическим и деградационно-полигенетическим, каждое из них объединяет комплекс градаций. В названиях этих более низких по рангу градаций не обязательны уточнения, указывающие наиболее сложную фазу, если оговорено, что формирование СКП аградационно- или деградационно-полигенетическое. Ясно, что членение этого процесса идет по аградационной фазе в первом случае и деградационной — во втором при моногенетическом формировании противоположной фазы. Моногенетическим формирование СКП является в том случае, когда обе его фазы формируются моногенетически. При этом, хотя формирование СМП и СТП может быть и прямым, и возвратным, нет оснований для выделения этих градаций формирования СКП в целом. Как указывалось, формирование возвратных СМП в результате только возвратного промерзания возможно лишь на севере, но СТП на этих участках формируются за счет прямого протаивания. То же касается возвратного формирования СТП на юге. Следовательно, моногенетическое формирование СКП подразделяется на: 1) аградационно-возвратное, 2) деградационно-возвратное при прямом формировании противоположной фазы и 3) прямое, если и промерзание, и протаивание пород только прямое, как это нередко наблюдается в средней зоне.

Количественные показатели целесообразно учитывать лишь при характеристике и классификации процессов формирования отдельных фаз СКП, не включая их в классификационные показатели формирования СКП в целом. В данном случае нельзя использовать градации по количественным показателям процесса формирования более сложной фазы как градации СКП, поскольку это не отражает особенности количественных показателей формирования другой фазы СКП, не менее важной.

Следовательно, общая классификация процесса формирования СКП (рис. 29), в отличие от сходных классификаций СМП и СТП, строится на учете только качественных признаков при более дробном делении некоторых из них, а потому содержит меньшее число рангов. Пространственная приуроченность разных градаций этого процесса показана на рис. 30.

Различия между формированием СКП и их отдельных фаз служат причиной различий генетического многообразия СКП, СМП и СТП и их генетических классификаций. СКП, как СМП и СТП, делятся на систематические и несистематические, на моно- и полихронные, на моно- и полигенетические, хотя, как указывалось при рассмотрении особенностей их формирования, определение этих понятий применительно к СКП иное, более сложное, чем применительно к каждой из их фаз (рис. 31). В отличие от СМП и СТП, полихронные СКП не бывают слитными и разобщенными, поскольку остаточные мерзлый и талый горизонты этих фаз — составные части СКП. В южной зоне в деградационную фазу СКП однородные талые на всю мощность, а в аградационную — в основном неоднородные слагаются из мерзлого верхнего горизонта и нижнего остаточного талого, кроме лет с максимальной глубиной промерзания. В северной зоне, наоборот, в аградационную фазу СКП однородные мерзлые на всю мощность, а в деградационную слагаются из талого верхнего горизонта и мерзлого остаточного, кроме



лет с максимальной глубиной протаивания. Наиболее сложные СКП в средней зоне, где при резких колебаниях глубины сезонного промерзания и протаивания могут сохраняться оба остаточных горизонта: и талый и мерзлый, как в аградационную, так и в деградационную фазу.

Таким образом, полихронные СКП разделяются на: 1) неоднородные в обе фазы, 2) аградационно-неоднородные и 3) деградационно-неоднородные. Монохронные СКП, однородные в обе фазы развития, часто встречаются в средней зоне, в южной — только в годы максимального сезонного промерзания, а в северной — в годы максимального протаивания; неоднородные в обе фазы полихронные СКП встречаются только в средней зоне и на участках, аналогичных ей по геофизиологическим условиям; полихронные аградационно-неоднородные — в южной зоне и на отдельных участках средней, в основном в ее южной подзоне, а деградационно-неоднородные — в северной зоне и на отдельных участках северной подзоны средней зоны. Монохронные СКП и все четыре градации полихронных разделяются на: 1) моногенетические, если обе их фазы формируются моногенетически, и 2) полигенетические, если одна из фаз формируется полигенетически. Это позволяет разбить данную градацию на две более низкого ранга: 1) аградационно-полигенетические и 2) деградационно-полигенетические СКП, отсутствующие в делении СМП и СТП. Моногенетические СКП разделяются не на две, как СМП и СТП, а на три градации: 1) аградационно-возвратные, если формирование аградационной фазы возвратное при прямом деградационной фазы, встречаются редко, только в наиболее суровых по природным условиям районах; 2) деградационно-возвратные при возвратном формировании деградационной и прямом — аградационной фазы, нередки в южной зоне, особенно в ее южных районах, и 3) прямые при прямом формировании обеих фаз. Деление каждой из градаций полигенетических СКП более сложное, соответствует делению процесса их формирования по числу градаций и их названиям.

Предлагаемая генетическая классификация позволяет в общей сложности выделить 348 генетических разновидностей СКП. Полихронные полигенетические СКП образуют большее их число, чем монохронные моногенетические.

Рис. 30. Карта-схема формирования СКП. Составила Е.А. Втюрина

Северная зона: систематическое аградационно-полихронное, аградационно-полигенетическое и моногенетическое аградационно-возвратное формирование СКП: 1 — северная подзона: метакхронное, метакхронно-возвратное, сложное метакхронное, реже очень сложное синхронно-метакхронное возвратноупреждающее, очень редко моногенетическое аградационно-возвратное; 2 — средняя подзона: синхронное, синхронно-возвратное, сложное синхронное, реже очень сложное метакхронно-синхронное; 3 — южная подзона: метакхронное, метакхронно-возвратное, сложное метакхронное и очень сложное метакхронно-синхронное прямоупреждающее. Переходная зона: несистематическое моно- и полихронное, моно- и полигенетическое: 4 — северная подзона: монохронное и аградационно-полихронное, моногенетическое прямое и аградационно-полигенетическое метакхронное, метакхронно-возвратное и сложное метакхронное прямоупреждающее; 5 — южная подзона: монохронное и деградационно-полихронное моногенетическое прямое и деградационно-полигенетическое метакхронное, метакхронно-возвратное и сложное метакхронное прямоупреждающее. Южная зона: систематическое деградационно-полихронное, деградационно-полигенетическое: 6 — северная подзона: метакхронное, метакхронно-возвратное, сложное метакхронное, реже очень сложное синхронно-метакхронное прямоупреждающее; 7 — средняя подзона: синхронное, синхронно-возвратное, сложное синхронное, реже очень сложное метакхронно-синхронное; 8 — южная подзона: метакхронное, метакхронно-возвратное, сложное метакхронное, реже очень сложное синхронно-метакхронное возвратноупреждающее и моногенетическое деградационно-возвратное; 9 — подзона аградационно-несистематического, деградационно-полихронное, деградационно-полигенетического метакхронного, метакхронно-возвратного, сложного метакхронного возвратно-упреждающего и моногенетического деградационно-возвратного формирования СКП. Сочетания: 10 — всех видов систематического деградационно-полихронного деградационно-полигенетического, моно- и полихронного моногенетического прямого и аградационно-полихронного моно- и полигенетического прямоупреждающего, меняющихся с высотой; 11 — всех градаций аградационно-полихронного, меняющихся с высотой, начиная от моногенетического прямого; 12 — всех градаций метакхронного прямоупреждающего и синхронного аградационно-полигенетического полихронного формирования СКП, меняющихся с высотой; 13 — деградационно-полихронного, монохронного и аградационно-полихронного формирования СКП, меняющихся с высотой. 14 — ледники

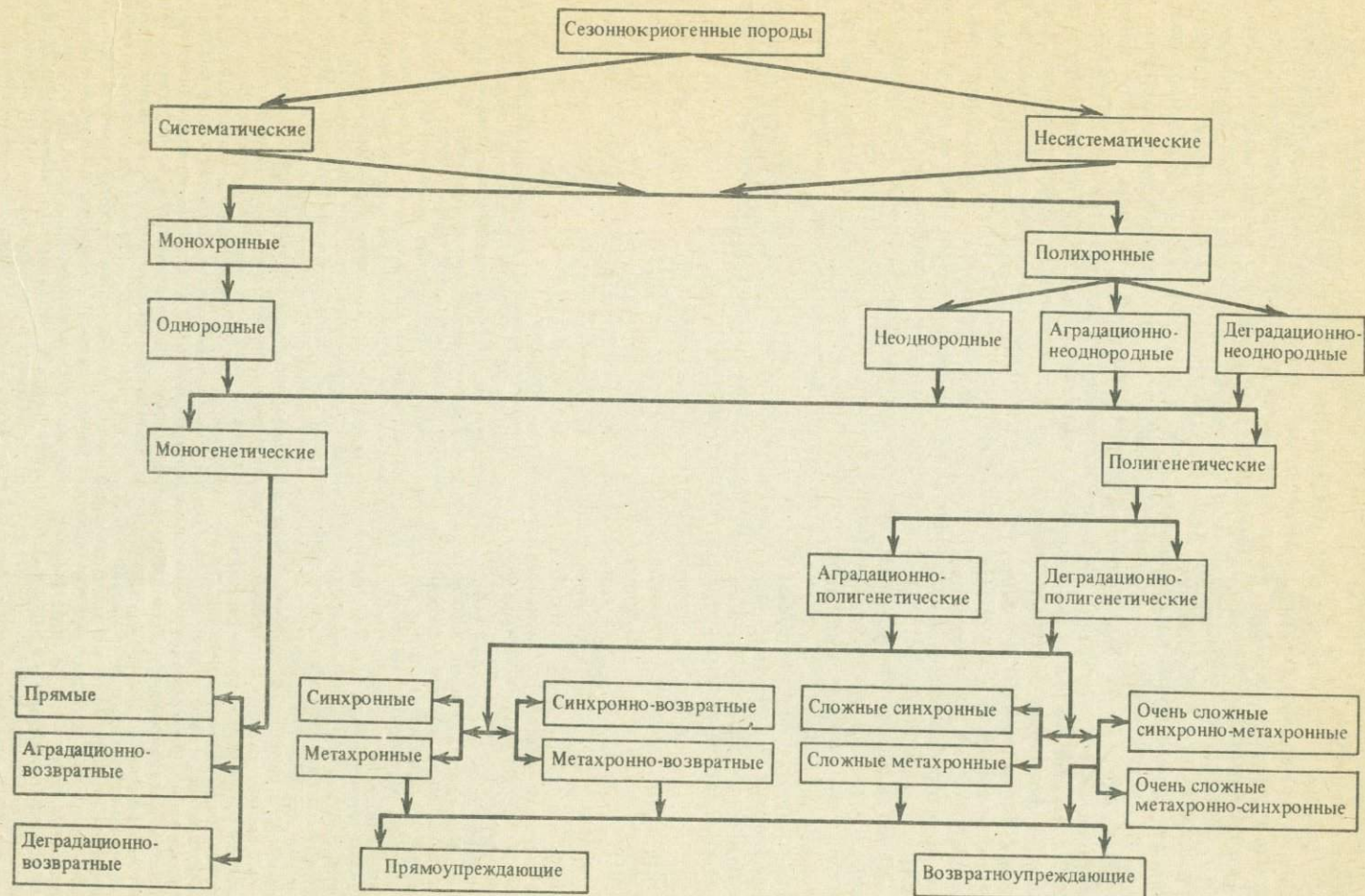


Рис. 31. Генетическая классификация СКП

ОБЩАЯ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД

Общая морфогенетическая классификация СКП строится с учетом их дифференциации по тем же признакам, что и общие классификации СМП и СТП, но расхождение систематики СКП и их фаз по ряду одних и тех же признаков, как качественных, так и количественных, обуславливает различие также их общих классификаций. В основу морфогенетической классификации СКП положены 12 качественных и 5 количественных признаков: характер распространения, мощность, льдистость, влажность, температура (рис. 32, см. вкл.). Если в классификациях СМП и СТП учитывается соответственно средняя зимняя и средняя летняя температура пород, то в общей классификации СКП их градации по температуре даются с учетом ее среднего годового значения и среднего квадратического отклонения (σ) от средней многолетней температуры СКП (\bar{t}). Из-за больших различий температуры СКП в разных зонах целесообразно построение самостоятельных классификаций по этому показателю для каждой из них. Так, судя по температуре ММП в зоне нулевых годовых амплитуд, от которой мало отличается средняя годовая температура СКП, диапазон изменения ее в северной зоне от $-0,5$ до -14° . В южной зоне такие значения вообще не свойственны температуре СКП, изменяющейся здесь примерно в диапазоне от $0,5$ до 20° (судя по значениям ее на глубине 3 м, приведенным И.Я. Барановым на геокриологической карте СССР). В средней зоне температура СКП колеблется от $-0,5$ до $+0,5^\circ$. Учитывая неустойчивость температуры СКП во времени, почти ежегодные ее колебания, приводящие в диапазоне температур $\pm 1^\circ$ к качественным изменениям СКП, даже при отклонении всего на $0,5^\circ$, границы средней зоны целесообразно проводить не по $\pm 0,5^\circ$, а по $\pm 1,0$. Отсюда диапазон температуры СКП в северной зоне от -1 до -14° и ниже, в южной от $+1$ до $+20^\circ$ и выше, в средней $\pm 1^\circ$.

Критерии градаций температуры СКП в абсолютном выражении в каждой из зон целесообразно задавать такие, чтобы они знаменовали собой определенные, в основном качественные изменения СКП. Как предварительные можно предложить следующие классификации СКП по температуре для каждой из зон (табл. 14). Для северной зоны температура -2° критическая, означающая смену южного вида промежуточной сложной структуры календарного периода формирования СТП на северный. Изотерма -4° разделяет метакхронные прямоупреждающие и синхронные аградационно-полигенетические СКП, а изотерма -5° — синхронные и метакхронные возвратноупреждающие. При температуре СКП ниже -10° возможны участки несистематического формирования их деградационной фазы (СТП) и субкальвые СКП.

В южной зоне изотерма $+4^\circ$ означает смену северного вида промежуточного сложного типа структуры календарного периода формирования СМП на южный, переход от метакхронных прямоупреждающих к синхронным деградационно-полигенетическим СКП, а $+5^\circ$ — от синхронных к метакхронным возвратноупреждающим. Изотерма $+15^\circ$ как критическая принята условно. В основном, согласно геокриологической карте И.Я. Баранова, она разделяет зону систематических и несистематических СМП.

Таким образом, классификации СКП и каждой из их фаз по температуре строятся по-разному. Классификация СМП, как и СТП, по этому показателю — единая для всей области их распространения, а СКП — индивидуальная для каждой из трех их зон.

Пока нет возможности учесть посткриогенные особенности СКП из-за их слабой изученности. Важность их учета несомненна, поскольку посткриогенное строение пород своеобразно и определяет специфику ряда их свойств. Укажем некоторые его особенности, хотя их пока нельзя учесть при систематике СКП. Посткриогенное строение пород — это результат или следствие проявления в них криогенных процессов: промерзания и протаивания, льдообразования и льдотаяния, пучения, оседания, десерпции, трещинообразования и т.д. Оно определяется теми изменениями первичной структуры, текстуры, условий залегания минеральной и органической части СКП, которые вызваны проявлением ЛКП. Посткриогенное строение СКП может сохраняться очень долго, несмотря на систематическое проявление в них как аградационных, так и деградационных ЛКП, например изменение гранулометрического состава СКП под действием криогенной сортировки, солифлюкции и т.д. Возникшие особенности состава СКП прослеживаются в любую фазу их развития даже после прекращения обусловивших их процессов.

Таблица 14

Классификация СКП по средней годовой температуре, °С

Градации СКП	Зона		
	северная	средняя	южная
Очень низкотемпературные	$t > -10^{\circ}$	$-1 < t < -0,5^{\circ}$	$1 \leq t < 2^{\circ}$
Низкотемпературные	$-10 \leq t < -5^{\circ}$	$-0,5 \leq t < 0^{\circ}$	$2 \leq t < 4^{\circ}$
Среднетемпературные	$-5 \leq t \leq -4^{\circ}$	$t = 0^{\circ}$	$4 \leq t \leq 5^{\circ}$
Высокотемпературные	$-4 < t \leq -2^{\circ}$	$0 < t \leq 0,5^{\circ}$	$5 < t \leq 15^{\circ}$
Очень высокотемпературные	$-2 < t \leq -1^{\circ}$	$0,5 < t \leq 1^{\circ}$	$t < 15^{\circ}$

Некоторые особенности посткриогенного строения СКП, например посткриогенная текстура, прослеживаются только в деградационную фазу их развития, лишь часть теплого сезона. Это дает основание разделить посткриогенное строение СКП на: 1) многолетнее и 2) сезонное. Оно изучено гораздо слабее, чем криогенное строение СМП. Никем и никогда не предлагалась его систематика, даже самая простая. Исследователи, как правило, ограничиваются описанием формы, размеров и установлением, часто ориентировочным, генезиса четко выраженных текстурных образований: земляных жил, псевдоморфоз, инволюций и криотурбаций, мелких гумусовых прожилок, полых трещин и т.д., связывая их образование с проявлением криогенных процессов.

Довольно много внимания с давних пор уделяется также вопросу о криоструктурном микрорельефе, имеется несколько его классификаций. Изучены солифлюкционные формы рельефа и их строение, имеется много сведений о термокарстовых, нивальных формах рельефа. При этом до сих пор как-то не обращалось внимания на то, что значительная часть этих текстурных образований и форм рельефа зарождается и развивается прежде всего в СКП, в конечном счете определяя основные особенности их посткриогенного строения.

Учитывая зональность ЛКП и исходя из их специфики в разных зонах, попытаемся проанализировать основные особенности посткриогенного строения СКП. В северной зоне одним из наиболее распространенных рельефообразующих ЛКП является криогенное трещинообразование. Проявление его приводит к формированию жильно-полигонального рельефа. На участках растущих безваликовых и валиковых жильных полигонов СКП вследствие этого теряют сплошность по площади, расчленяются полыми трещинами шириной до 15–20 см на обособленные блоки-полигоны поперечником от 10–15 до 50–60 м. СКП в их пределах имеют пологовогнутую или плоскую форму. По мере разрушения валиков, выравнивания поверхности, преобразования ее в скрыто-полигональную (Вторин, 1956) разобшенное блочно-полигональное посткриогенное строение СКП преобразуется сначала в полуразобшенное, при котором поляя трещина-канавка прослеживается лишь в верхней части СКП, а в нижней ее заменяет торфяно-землистая или торфяная жилка. При полной ликвидации валиков и выравнивании поверхности СКП приобретают слитное полигональное посткриогенное строение.

Как известно, северной зоне свойственны также сезонные трещинные полигоны, связанные с криогенным трещинообразованием, но не связанные с формированием ПЖЛ. Поперечник их в основном меньше, как правило, не превышает 10–15 м, ширина трещин-канавок 5–10 см. При возникновении трещинно-полигонального рельефа СКП приобретают сначала полуразобшенное (трещина в верхней части, земляная жилка в нижней), а по мере ликвидации этого рельефа — слитное полигональное посткриогенное строение. Как видим, и в случае развития жильно-полигонального, и при образовании трещинно-полигонального криогенного рельефа возникает одинаковое по названию посткриогенное строение СКП, но различающиеся по размерам полигональных блоков СКП, ширине земляных жил поверху, ширине полых частей криогенных трещин. Самые крупные полые трещины-канавки и земляные (в том числе и торфяные) жилы в СКП возникают на участках развития жильно-полигонального криогенного рельефа, средние — на участках трещинно-полигонального рельефа.

В горных районах северной зоны при неоднородном гранулометрическом составе СКП трещинообразование сочетается с проявлением криогенной сортировки материала.

В результате СКП здесь приобретают структурно-полигональное посткриогенное строение. При этом генезис трещин (трещины криогенные, усыхания, или гидрогенные, трещины-отдельности) особого значения не имеет, а частота их расположения много больше, чем на равнинах этой зоны. Поэтому структурно-полигональное — наиболее мелкополигональное посткриогенное строение СКП.

В тех случаях, когда криогенная сортировка материала приводит к образованию так называемых каменных морей, возникает структурное горизонтально-слоистое посткриогенное строение СКП. Большая подвижность СКП на склонах при их слабой задернованности приводит к преобразованию структурно-полигонального строения СКП в продольное вертикально-полосчатое структурное, при котором повсей толщине СКП или в их верхней части наблюдается чередование вертикальных полос мелкозема и грубых обломков шириной от нескольких десятков сантиметров до 1—2 м, прослеживающихся сверху вниз по склону.

На задернованных сравнительно пологих склонах большую роль в формировании строения СКП играет солифлюкция. Развитие криосолифлюкционных форм рельефа (террас, языков, валов, покровов и т.д.) от их возникновения до полной деградации обуславливает закономерную смену посткриогенного строения СКП. В процессе их роста СКП имеют слоистое строение вследствие подворота дернины под текущий грунт. Возникает гранулометрическая дифференциация СКП вниз по склону: в верхней части склонов состав СКП более грубый, чем в пределах криосолифлюкционных форм. По мере прекращения роста начинает проявляться дифференциация гранулометрического состава в их пределах: близ фронтальных уступов накапливается более грубый материал. Это обуславливает прерывистую в плане вертикальную полосчатость СКП в пределах криосолифлюкционных террас, языков, ступеней, нормальную к уклону склона. При разрушении таких фронтальных уступов обломки рассыпаются, перемещаются под влиянием криогенных процессов, плоскостного смыва и т.д. В результате возникают участки структурно-слоистого строения СКП: торф или неоднородный минеральный грунт и торф оказываются перекрытыми горизонтом грубых обломков. Нивация, формирование криоденудационных террас также приводят к определенной дифференциации состава СКП на склонах.

В итоге посткриогенное строение СКП на склонах в северной зоне должно проявляться значительно четче, чем в южной без ММП, и выражаться в большей пестроте их гранулометрического состава, подчас затушевывающей закономерное для южной зоны возматание дисперсности пород вниз по склону.

Весьма распространены в северной зоне такие оригинальные образования, как пятна-медальоны. Генезис их пока неясен, а огромное влияние на строение СКП очевидно. Как правило, это групповые образования, в крайних северных районах нередко занимающие больше половины площади участка. Они представляют собой округлые пятна обнаженного тонкодисперсного или разнородного грунта среди задернованной поверхности. Диаметр их от 40—60 см до 1—1,5 м. В разрезе СКП это своеобразные вертикальные столбы минерального грунта среди слоистого торфяно-минерального или торфа. Возникает гнездовое (если СКП за пределами пятен-медальонов представлены только торфом) или слоисто-гнездовое (если вне пятен СКП представлены переслаиванием торфа и минерального грунта, например на солифлюкционных склонах) посткриогенное строение СКП. Оно может осложнять полигональное полуразобщенное и слитное посткриогенное строение СКП, а также быть самостоятельным. Почти все изменения состава СКП, вызванные криогенными процессами, ведут к изменению остальных их классификационных количественных показателей (мощности, льдистости, влажности, температуры, реже характера распространения), а также их свойств.

Криогенное дифференциальное пучение, формирование многолетних бугров обуславливают положительный резкий локальный изгиб всего слоя СКП и служат основой для неравномерного изменения их состава на склонах бугров разной экспозиции и на вершине по сравнению с окружающими участками. При развитии групповых бугров пучения между ними нередко возникают мочажины и озера, меняется режим снегонакопления, что также приводит не только к изменению состава СКП, но и к локальному увеличению мощности, изменению температурного и влажностного режимов и свойств СКП.

Формирование термокарстовых форм рельефа до развития в них озер приводит к сходным изменениям строения СКП, но как бы с обратным знаком. На участках

термокарстовых понижений также возникает резкий изгиб слоя СКП, но с отрицательным знаком. Нередко происходит перераспределение материала, накопление минерального грунта в днище такого понижения, увеличивается его влажность, повышается температура, возрастает мощность СКП. Образование термокарстовых озер приводит к увеличению мощности СКП в их пределах и вовлечению в их состав части пород, до этого находившихся в многолетнемерзлом состоянии, а по мере возрастания глубины озер — к качественным преобразованиям СКП при уменьшении их мощности и изменении вследствие этого их состава. Если глубина озер начинает превосходить возможную толщину льда на них, в их пределах прекращается проявление процессов сезонного промерзания и протаивания, что ведет к возникновению участков без СКП. Термокарстовые формы преимущественно крупнее пучинных, а потому развитие термокарста приводит в целом к более существенным по площади посткриогенным изменениям строения СКП.

В южной зоне посткриогенное строение СКП менее сложное из-за меньшего многообразия ЛКП. В ней не развивается жильно-полигональный рельеф, и потому СКП ни на одном из участков не имеют разобщенного блочно-полигонального строения. Трещинно-полигональный рельеф также очень слабо развит, кроме гольцового пояса гор, где он служит нередко основой для возникновения структурно-полигонального посткриогенного строения СКП. Многолетние снежники свойственны лишь отдельным горным районам, а многолетних наледей (тарынов) вообще не образуется. Поэтому нивация и наледообразование здесь значительно меньше влияют на СКП, чем в северной зоне. Почти не развита солифлюкция и не встречается обусловленное ее проявлением слоистое посткриогенное строение СКП. Нет пятен-медальонов, а следовательно, и гнездового, и слоисто-гнездового строения СКП. Изредка проявляются сезонное дифференциальное пучение и термокарст на участках бугров пучения с соответствующими посткриогенными изменениями строения СКП. Как известно, вне современной области ММП исследователями зафиксированы следы древнего проявления термокарста (например, степные блюдца на Украине, древний жильно-полигональный рельеф в Красноярском крае и др.). Они, естественно, обуславливают различия в строении современных СКП, но по отношению к ним это не посткриогенные изменения, поскольку современные СКП формировались уже при наличии этих древних форм рельефа.

Средняя зона — переходная и по посткриогенному строению СКП. Литокриогенные рельефообразующие процессы в ней проявляются не так широко и интенсивно, как в северной зоне, но и не столь ограничено, как в южной. Слабее, чем в северной зоне, развиты солифлюкция, пятнообразование. Криогенное трещинообразование интенсивно проявляется лишь в малоснежных районах (например, в южной части Забайкалья). Слабее и более локально выражены и посткриогенные особенности строения СКП, обусловленные проявлением этих процессов. Широко развиты сезонное дифференциальное пучение пород, особенно на равнинах, и термокарст по сезонным буграм пучения, приводящие к посткриогенным деформациям СКП.

Мы очень кратко охарактеризовали возможные основные посткриогенные изменения строения СКП, обусловленные преимущественно рельефообразующими процессами, пользуясь сведениями не столько по строению СКП, сколько по отдельным криогенным формам рельефа, рассматриваемым исследователями, как правило, вне связи с посткриогенным строением СКП. Совсем не коснулись вопроса о посткриогенной текстуре СКП. Он разработан еще меньше. Есть сведения о том, что некоторые черты криогенной текстуры СМП прослеживаются и в СТП (в основном следы слоистой криотекстуры). Без сомнения, некоторое время после протаивания пород следы былой криотекстуры, кроме массивной и базальной, должны быть заметны, но пока неясно, сколько продолжительное время они сохраняются и насколько точно отражают былую криотекстуру. На большей части северной зоны этому препятствует сильное увлажнение СКП, при оттаивании нередко приобретающих текучую консистенцию, а в южной — быстрое протаивание и длительный период сохранения СТП, в течение которого инфильтрация дождевых осадков, интенсивные биохимические процессы могут полностью уничтожить следы былой криотекстуры. Видимо, более длительное (но какое — неизвестно) время они сохраняются в СТП средней зоны, где протаивание длится почти весь теплый сезон, а влажность пород не так высока, как в северной зоне.

Однако даже краткое рассмотрение вопроса о посткриогенном строении СКП позволяет сделать следующие выводы о его основных особенностях.

1. Литокриогенные процессы, особенно рельефообразующие, непосредственно воздействуют на СКП, формируя их посткриогенное строение.

2. Зональность литокриогенных процессов обуславливает зональность посткриогенного строения СКП, проявляющуюся в усложнении его с возрастанием суровости природной обстановки как на равнинных территориях, так и в горах: наиболее сложно посткриогенное строение в северной зоне, наименее — в южной.

3. Более широкий комплекс литокриогенных склоновых процессов в северной зоне обуславливает столь существенные изменения строения СКП, что они подчас затушевывают закономерное увеличение дисперсности СКП вниз по склонам.

4. Уже сейчас выявляются некоторые признаки, по которым возможна систематика посткриогенного строения СКП, однако для построения его классификации еще недостаточно данных.

Анализируя основные особенности СКП, нетрудно заметить принципиальные различия между СКП северной, средней и южной зоны. Они отличаются по ряду качественных признаков, что дает основание разделить природные СКП на три класса: 1) северные (СКП_с); 2) южные (СКП_ю) и 3) переходные (СКП_п). В северном полушарии первые из них в основном аградационно-полихронные, кроме года с максимальной глубиной сезонного протаивания, деградационно-неоднородные, аградационно-полигенетические всех типов. Остаточный мерзлый горизонт свойствен им большую часть репрезентативного периода. СКП_с имеют наиболее сложное и многообразное криогенное и посткриогенное строение. Вторые — СКП_ю — также преимущественно полихронные (но вследствие полихронности деградационной фазы), аградационно-неоднородные, деградационно-полигенетические всех типов. Остаточный горизонт — талый, отмечается в любой год, кроме года с максимальной глубиной сезонного промерзания. СКП_ю имеют наиболее простое криогенное и посткриогенное строение. Переходные СКП_п занимают промежуточное положение между СКП_с и СКП_ю. Они могут быть монохронными и полихронными за счет полихронного формирования как аградационной, так и деградационной фазы. Им свойствен и талый, и мерзлый остаточный горизонт, иногда оба одновременно, что делает их как однородными при монохронном формировании, так и неоднородными в любую из фаз — при полихронном. Они бывают только моногенетические прямые. Сложность их криогенного и посткриогенного строения меньше, чем СКП_с, но больше, чем СКП_ю.

В южном полушарии наиболее сложные СКП_ю, наиболее простые СКП_с. Деление на СКП_с, СКП_ю и СКП_п дает три градации таксона I ранга в их общей морфогенетической классификации, выделяемые по комплексу генетических признаков. Значковые обозначения, примененные нами при составлении общей классификации СКП, позволяют сравнительно легко перестроить ее в частные классификации каждого из этих трех основных классов СКП. Методика применения значковых обозначений та же, что и в общей классификации СКП. В дальнейшем будет, видимо, возможно применение системы баллов или другие методы комплексной оценки СКП по количественным показателям.

ПРИНЦИПЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД

Принципы картографирования СКП, как и других природных образований, определяются не только целями и задачами их картографирования, масштабом карт, но также детальностью знаний о них. Анализ карт, принципов их построения обычно позволяет установить уровень знаний об отражаемом образовании или процессе к моменту их составления. Но карт СКП пока нет. Ознакомление с обзорными геокриологическими картами СССР в целом и отдельных регионов, с картами СТС и СМС и сезонного промерзания и протаивания пород показало, что до сих пор составлялись карты СТС для области ММП и СМС для зоны без ММП и с их глубоким залеганием. Иными словами, на одной и той же карте для области ММП отражались отдельные особенности лишь деградационной фазы СКП, а вне ее — лишь аградационной их фазы. Поэтому анализ таких карт не позволяет составить целостного представления о СКП всей территории СССР или его крупных регионов. Кроме того, не только общие геокриологические карты СССР, но и более крупномасштабные карты СТС и СМС отдельных областей и районов очень мало информативны. На большинстве из них с разной степенью обоснованности показана лишь одна характеристика СТС в области ММП и СМС вне ее — их

мощность. Однако использование случайных, нередко несравнимых данных при составлении большинства карт, на что указывалось выше, не позволяет составить правильное представление ни о мощности деградационной фазы СКП в области ММП, ни аградационной за ее пределами.

Предложенная нами многоступенчатая общая морфогенетическая классификация СКП отражает не только их природное многообразие, но и может служить основанием для выработки принципов значительно более информативного картографирования СКП практически в любом масштабе и в любых целях. Каждый классификационный признак СКП может быть отображен на карте, т.е. быть одним из признаков картографирования и районирования СКП. Большое число качественных и количественных признаков СКП исключает возможность совмещенного отображения особенностей СКП и ММП. Так, согласно общей классификации СКП, число их качественных признаков — до 12, а количественных — 5. Поэтому даже отражение на карте закономерностей изменения в пределах области СКП только качественных их особенностей без каких-либо показателей ММП делает карту очень сложной, а на отдельных участках трудно читаемой. Очевидно, что карта СКП любого масштаба — это самостоятельная карта, с возможной или требуемой полнотой отражающая пространственную дифференциацию их качественных и количественных показателей или части их. При составлении обзорных, а иногда и целевых мелкомасштабных карт СКП прежде всего должны учитываться их основные качественные признаки. Нами предпринята попытка составить первую обзорную схематическую карту СКП, отображающую основные закономерности изменения качественных их особенностей на территории СССР (рис. 33, см. вкл.), их неоднородность в пределах разных регионов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенное новое направление в изучении верхнего горизонта литокриосферы с сезонным циклом промерзания—протаивания позволяет существенно повысить уровень знаний о нем. Большая роль этого горизонта горных пород в жизни людей делает особенно необходимым правильное понимание закономерностей его формирования и развития как в научных, так и в практических целях.

Анализ накопленных фактических материалов о породах с проявлением сезонного цикла промерзания—протаивания, теоретических построений и методологических разработок, а также многолетняя работа автора по данной проблеме показали необходимость в настоящее время: а) отказа от неправильного критерия основных видов мерзлых пород и введения нового более обоснованного их критерия, и б) замены в связи с этим проблемы СТС—СМС в современной ее трактовке новой, более фундаментальной проблемой сезоннокриогенных пород, больше отвечающей современному уровню знаний и требованиям практики. Данная работа — первая попытка изложить основы теории СКП. В ней предложен, на наш взгляд, четкий, новый по сравнению с СТС—СМС критерий выделения СКП. Изменение критерия привело к существенному расширению предмета исследований в рамках проблемы СКП по сравнению с проблемой СТС—СМС, к пересмотру теоретических и методологических основ последней, а также понятийного аппарата, оказавшихся недостаточными для проблемы СКП. Все это позволило получить значительно более детальную систему представлений о такой сложной, многогранной специфической среде, как СКП, точно определить их место во временном ряду криогенных пород. Впервые установлены основные закономерности формирования и генетические особенности СКП и отдельных фаз их развития и показана необходимость их изучения. Предложены первые классификации процессов их формирования, генетические и общие морфогенетические классификации СМП, СТП и СКП в целом. На их основе разработаны новые принципы картографирования и составлена серия оригинальных карт-схем, показывающих качественное многообразие СКП и их фаз на территории СССР. Уточнены представления о количественных показателях горизонта пород с сезонным циклом промерзания—протаивания и предложена новая систематика его по этим показателям. Учет качественных и количественных признаков при картографировании территории по особенностям СКП позволяет получить и передать значительно больший объем информации о них, чем это было возможно до сих пор.

Детальное комплексное изучение СКП дает возможность по-новому подойти к решению ряда вопросов, непосредственно не связанных с проблемой СКП, но весьма важных в геокриологии, в частности, к пониманию предмета ее изучения, к понятию "криогенез" [Втюрина, Втюрин, 1982а]. Очевидно, что геокриология — это учение не только "о закономерностях промерзания и протаивания земной коры, развития и распространения зон мерзлых почв, горных пород, грунтов, особенностях их состава, строения и свойств, сопутствующих процессах, а также взаимодействия с результатами производственной деятельности человека" [Основные понятия и термины..., 1956, с. 10], но и о талых породах. Иными словами, геокриология, точнее литокриология, — это учение о литокриогенных процессах, явлениях и образованиях как в аградационной, так и в деградационной фазе их развития. Определение понятий "литокриогенный процесс, явления и образования" дано нами ранее [Втюрин, Втюрина, 1981а].

Необходимо также расширение понятия "криогенез". Это не только "совокупность процессов физического, химического и минералогического изменения и преобразования почв и горных пород коры выветривания, а также гидросферы при отрицательной температуре" [Основные понятия и термины. . . , 1956, с. 12]. Такое определение поня-

тия "криогенез" уже недостаточно не только при широком понимании его как криогенеза Земли, т.е. геокриогенеза, включающего атмо-, гидро-, био- и литокриогенез в соответствии со сферами проявления, но и как литокриогенеза. Литокриогенез — это совокупность процессов, вызванных фазовыми переходами вода, водяной пар \rightleftharpoons лед, и сам этот процесс в литосфере [Втюрин, Втюрина, 1980]. Следовательно, он обуславливает изменение пород не только при отрицательной температуре и при переходе от положительной к отрицательной (аградационный фазовый переход), но и при переходе мерзлых пород в талые (деградационный фазовый переход) и при их положительной температуре, пока действуют процессы, вызванные этим фазовым переходом. Таким образом, литокриогенез — это изменение и развитие литосферы под воздействием протекающих в ней аградационных и деградационных криогенных процессов.

Детальное изучение качественных особенностей СКП показало необходимость отказаться от понятия и термина "перелётки", изменить существующее представление о временных грациях мерзлых пород и их критериях.

Установление закономерностей криогенного строения СКП в целом делает необходимым некоторое уточнение представлений о криогенном строении сингенетических ММП. Становится понятным, например, наличие мощных сравнительно монотонных их горизонтов с атакситовой текстурой в одних районах и довольно частое чередование горизонтов с атакситовой и шлировой текстурой в других и палеогеокриологическое значение этих различий.

По-иному представляются причины ступенчатости боковых контактов сингенетических повторножильных льдов и палеогеокриологическая интерпретация этой их особенности. Основная из них — временная динамика глубины сезонного протаивания и мощности СКПс. Она приводит то к полному, то к частичному протаиванию их остаточного мерзлого горизонта и сформировавшегося в нем повторно-жильного льда. Отсюда ступенчатость повторных ледяных жил — вполне закономерный результат их естественного развития независимо от способа формирования. Различить эпи- и сингенетические жилы позволяет число уступов, а не их наличие. Если СКПс подстилаются эпигенетическими ММП и накопления осадков на таких участках нет, динамика глубины сезонного протаивания и мощности СКПс не могут, по-видимому, привести к образованию более 2—3 ступеней над неступенчатой частью жилы. У сингенетических жил таких ступеней может быть очень много и интервалы между ними должны быть больше. Соответственно необходима корректировка палеогеокриологических выводов, сделанных с учетом только ступенчатости верхней части жил.

Как известно, весьма многочисленная группа форм криогенного рельефа обусловлена криогенными процессами в СКП. Замена проблемы СТС—СМС проблемой СКП поможет более полно разобраться в механизме их образования и особенностях ЛКП.

Следует отметить также значение нового подхода к изучению СКП в методологии нашей науки. Он предполагает существенное изменение методик их изучения [Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования, 1961; Методика комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки..., 1970; Втюрина, Чернядьев, 1971; и др.]. Практически необходимо составление нового методического руководства по комплексному изучению СКП, обеспечивающему объективное познание не только количественных, но и качественных показателей СКП и их отдельных фаз, закономерностей их изменения во времени и пространстве.

Очевидна также необходимость создания методики изучения МТП, а также МКП в целом, учитывая, что в пределах СССР восстановлены как однородные аградационные и деградационные толщи МКП, так и неоднородные: аградационно-неоднородные на севере Западной Сибири, в зоне, где современные ММП отделены от реликтовых толщ МТП, и деградационно-неоднородные на юге этого региона, где современных ММП нет, а реликтовые деградирующие еще сохранились, перекрываясь и подстилаясь разобщенной толщей МТП [Втюрина, Втюрин, 1982б].

Перечень научных проблем, претерпевающих те или иные изменения и дополнения в связи с повышением уровня знаний об СКП, обусловленным иным, чем принято до сих пор, направлением их исследования, можно продолжить, но, видимо, сказанного достаточно для подтверждения большого научного значения предложенной нами проблемы СКП.

Замена проблемы СТС—СМС новой проблемой СКП позволяет повысить обоснован-

ность практических рекомендаций по учету их особенностей при освоении территории. Очевидно, что инженерам-строителям необходимо знание в основном мощности СКП, а не произвольной глубины сезонного промерзания или протаивания. Для этого недостаточен 10-летний период исследований этих процессов, рекомендуемый СНиП—II—15—74 и СНиП—II—18—76. Максимальная, а тем более средняя глубина их проявления за этот период не дает представления о мощности СКП. Эти положения СНиП требуют уточнения. Глубина сезонного промерзания и сезонного протаивания практически изменяется ежегодно, а потому прогнозировать какие-либо ее значения, кроме максимальных за 30-летний период, не имеет смысла, если этого не требуют специальные цели. Но максимальная за этот период глубина сезонного протаивания и есть мощность СКП. Она довольно устойчива во времени как в области ММП, так и вне ее; в естественных условиях изменяется один раз за 30 лет. Антропогенное воздействие почти неизбежно ускоряет изменение мощности СКП. Одна из целей геокриологического прогноза — определение направленности и величины этого изменения.

Знание качественных особенностей СКП позволяет повысить точность такого прогноза. Во всех случаях повышается или понижается нижняя поверхность СКП. Это сопровождается понижением или повышением температуры пород в зоне нулевых годовых колебаний, что, в свою очередь, влияет на процесс формирования СКП, а через него на их льдистость и влажность. Зная качественные характеристики СКП при той или иной температуре пород в зоне с нулевыми годовыми амплитудами, можно в основном достаточно точно предсказать изменение типа формирования СКП и их последующее криогенное строение, а значит, льдистость, влажность и теплорасходы на фазовые переходы, особенно для северных СКП, что наиболее важно инженерам-строителям.

Иными словами, прогноз изменения мощности СКП должен быть двухстадийным: на первой стадии рассчитывается сокращение или увеличение мощности СКП с учетом не средней условно заданной, а действительной их влажности и льдистости, исходя из особенностей их криогенного строения в естественной обстановке. Если изменения температуры подстилающих пород приводят к переходу ее через критические для формирования СКП значения, на второй стадии прогноза рассчитывается то сокращение или увеличение мощности СКП, которое обусловлено перестройкой их криогенного строения в новых условиях формирования.

Знание качественных характеристик СКП позволяет более детально разобраться во временной и пространственной динамике таких опасных подчас для промышленного освоения территории процессах, как криогенное пучение и оседание пород, солифлюкционное смещение их на естественных склонах и на откосах. Далеко не всегда увеличение глубины сезонного протаивания в пределах мощности СКП приводит к опасному для инженерных сооружений увеличению оседания пород или возрастанию интенсивности солифлюкции. При закономерном криогенном строении СКП это зависит от его особенностей. Знание их дает возможность предсказывать основные особенности сезонной динамики общего криогенного пучения и оседания пород, солифлюкции, наиболее вероятные сроки криогенных сплывов и оползней, что немаловажно для строителей. Ранее нами [Втюрина, 1974б] приведена карта-схема сезонной динамики общего криогенного пучения СТП при промерзании.

Знание основных закономерностей криогенного строения СКП необходимо при проведении мелиоративных работ, поскольку глубина заложения дрен нередко в основном лимитируется особенностями криогенного строения СКП. Их работа наиболее эффективна, если они заложены глубже наиболее льдистого горизонта СКП.

Комплексный подход к изучению СКП, знание их основных качественных, а не только количественных показателей необходимы также почвоведом и гидрологам. Как известно, почвоведы все большее внимание начинают проявлять к зимнему периоду жизни почв. Почвенный слой почти соизмерим с СКП в одних районах, превышает их мощность на крайнем юге и в основном меньше их в крайних северных районах. Комплексный анализ качественных особенностей СКП должен, по нашему мнению, существенно помочь почвоведом в решении вопроса, что же считать "мерзлотными почвами", каков их критерий и как их дифференцировать и систематизировать, не ограничиваясь простым добавлением слова "мерзлотные" к обычным типам почв. Знание соотношения мощности СКП и почвенного горизонта, особенностей формиро-

вания и криогенного строения СКП уже сейчас дает возможность сделать ряд интересных выводов о развитии почв в летний и зимний сезоны и его основных особенностях в разных зонах и регионах СССР.

Учет не только количественных, но и качественных характеристик СКП, в частности их криогенного строения и особенностей формирования их деградационной фазы, поможет гидрологам точнее определять объем талых снеговых вод, поступающий в реки, и высоту весеннего половодья. Карты-схемы и классификации, приведенные в работе, позволяют составить общее представление об особенностях ряда качественных характеристик СКП и их отдельных фаз в любом регионе СССР. Их знание необходимо также при выработке системы природоохранных мероприятий как в области ММП, так и вне ее.

ЛИТЕРАТУРА

Акимов А.Т., Братцев Л.А. Динамика северной границы леса в правой части бассейна реки Усы. — Изв. Коми фил. ВГО, 1957, № 4, с. 82—91.

Алексеев В.Р., Артеменко И.Г. О слое сезонного протаивания у нижней границы многолетнемерзлых горных пород (по наблюдениям в Южной Якутии). — В кн.: Мерзлотные исследования. М.: Изд-во МГУ, 1969, вып. 9, с. 41—46.

Баранов И.Я. Переходная зона от зоны сезонной к области вечной мерзлоты в пределах СССР и смежных стран (южная граница области вечной мерзлоты): Автореф. Дис. ... д-ра геогр. наук. М., 1952. 45 с.

Баранов И.Я. Схематическая геокриологическая карта СССР. М., 1956.

Баранов И.Я. Некоторые закономерности развития толщ многолетнемерзлых горных пород и сезонного промерзания почвы. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1958, № 2, с. 22—35.

Баранов И.Я. Некоторые вопросы зональных закономерностей развития многолетнемерзлых пород. — В кн.: Доклады на международной конференции по мерзлотоведению. /Под ред. Цытовича Н.А. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 15—23.

Бауло В.Д., Втюрина Е.А. Сезонное промерзание почвогрунтов юго-восточной части Амурской области. — В кн.: Актуальные вопросы охраны природы на Дальнем Востоке. Владивосток, 1978, с. 100—107.

Боярский О.Г., Максимова Л.Н. О "перелетках" и кратковременно существующих многолетнемерзлых породах. — В кн.: Мерзлотные исследования. М.: Изд-во МГУ, 1970, вып. 10, с. 193—197.

Бредюк Г.П. О учете пучения при исследовании процессов промерзания—протаивания глинистых грунтов. — В кн.: Материалы VIII Всесоюз. междувед. совещ. по геокриологии (мерзлотоведению). Якутск, 1966, вып. 4, с. 226—233.

Быкова В.И. Закономерности формирования слоя сезонного промерзания пород юга Дальнего Востока и прогноз его изменения при мелиорации: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1979. 25с.

Вотлякова Н.И. Сравнительная оценка формул для расчета глубины сезонного промерзания—протаивания грунта. — В кн.: Экспериментальные исследования процессов теплообмена в мерзлых горных породах. М.: Наука, 1972, с. 146—153.

Втюрин Б.И. О некоторых геоморфологических терминах в геокриологии. — В кн.: Материалы к основам учения о мерзлых зонах

земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1956, вып. 3, с. 126—134.

Втюрин Б.И. Криогенное строение мерзлых толщ и их инженерно-геологическая оценка. — Инженерные изыскания для строительства. М.: ПНИИИС Госстроя СССР, 1967а, Сер. 5. Информ. вып. 4, с. 30—39.

Втюрин Б.И. Макрольдистость — важный показатель при инженерно-геологической оценке многолетнемерзлых пород. — В кн.: Материалы к научно-технической конференции по инженерным изысканиям. 11—15 мая 1967 г. М.: ПНИИИС Госстроя СССР, 1967б, с. 241—244.

Втюрин Б.И. Рекомендации по методике изучения подземных льдов и криогенного строения многолетнемерзлых грунтов. М., 1969. 50 с.

Втюрин Б.И. Подземные льды СССР. М.: Наука, 1975. 214 с.

Втюрин Б.И., Втюрина Е.А. Принципы классификации литокриогенных процессов и явлений. — Геоморфология, 1980, № 3, с. 13—22.

Втюрин Б.И., Втюрина Е.А. Криогенные процессы, явления, образования. — В кн.: Материалы гляциологических исследований: Хроника, обсуждения. М., 1981а, вып. 40, с. 235—240.

Втюрин Б.И., Втюрина Е.А. Подземные льды и прикладные аспекты их изучения. — В кн.: Материалы гляциологических исследований: Хроника, обсуждения. М., 1981б, вып. 41, с. 52—55.

Втюрина Е.А. Классификация криогенных текстур сезоннопротаивающего слоя. — В кн.: Материалы к научно-технической конференции ПНИИИС. 21—24 мая 1968 г. М.: ПНИИИС Госстроя СССР, 1968а, с. 134—137.

Втюрина Е.А. Типы криогенного сложения сезоннопротаивающего слоя. — В кн.: Материалы к научно-технической конференции ПНИИИС. 21—24 мая 1968 г. М.: ПНИИИС Госстроя СССР, 1968б, с. 137—140.

Втюрина Е.А. Криогенное строение пород как один из основных принципов классификации и районирования сезоннопротаивающего слоя (СТС). — В кн.: Материалы к научно-технической конференции ПНИИИС. Апрель 1969 г. М.: ПНИИИС Госстроя СССР, 1969а, с. 109—112.

Втюрина Е.А. Типы льдообразования в сезоннопротаивающем слое. — В кн.: Мерзлотные исследования. М.: Изд-во МГУ, 1969б, вып. 9, с. 168—169.

Втюрина Е.А. Высотная геокриологическая

поясность в пределах СССР. — Тр./ПНИИИС, 1970, т. 2, с. 247—267.

Втюрина Е.А. Основные закономерности криогенного строения сезоннопротаивающего слоя Средней Сибири. — Тр./ПНИИИС, 1971, т. 11, с. 145—152.

Втюрина Е.А. Закономерности криогенного сложения пород сезоннопротаивающего слоя. — В кн.: II Международная конференция по мерзлотоведению: Докл. и сообщ. Якутск, 1973, вып. 3, с. 60—65.

Втюрина Е.А. Динамика промерзания—протаивания пород сезонноталого слоя в пределах СССР. — В кн.: Почвенный криогенез, М.: Наука, 1974а, с. 141—146.

Втюрина Е.А. Криогенное строение пород сезоннопротаивающего слоя. М.: Наука, 1974б, 126 с.

Втюрина Е.А. О временной изменчивости мощности сезоннопротаивающего слоя горных пород. — В кн.: сезонно- и многолетнемерзлые горные породы. Владивосток, 1976, с. 107—114.

Втюрина Е.А. Сезонномерзлые горные породы и проблема их изучения. — В кн.: Общее мерзлотоведение: Материалы к III Междунар. конф. по мерзлотоведению. Новосибирск: Наука, 1978, с. 50—56.

Втюрина Е.А. О прерывистости и расчетной длительности периода устойчивого сезонного промерзания горных пород. — Изв. АН СССР, Сер. геогр. 1981а, с. 101—109.

Втюрина Е.А. Перелетки и основные типы сезонномерзлых пород. — В кн.: Строение и тепловой режим мерзлых пород. Новосибирск: Наука, 1981б, с. 26—35.

Втюрина Е.А., Втюрин Б.И. Льдообразование в горных породах М.: Наука, 1970, 279 с.

Втюрина Е.А., Втюрин Б.И. О криосфере, криологии и геокриологии. — В кн.: Материалы гляциологических исследований: Хроника, обсуждения, М., 1982а, вып. 45, с. 150—153.

Втюрина Е.А., Втюрин Б.И. Общая морфогенетическая классификация многолетнемерзлых горных пород. — В кн.: Материалы гляциологических исследований, Хроника, обсуждения, М.: 1982б, вып. 45, с. 146—149.

Втюрина Е.А., Чернядьев В.П. К методике изучения сезонноталого и сезонномерзлого слоев грунта. — Тр./ПНИИИС, 1971, т. 8, с. 93—204.

Гаврилова М.К. Пространственная и временная изменчивость сезонного протаивания в Якутии. — В кн.: Сезонное промерзание и протаивание грунтов на территории Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1966, с. 7—13.

Гарагуля Л.С. Динамика сезонного промерзания пород и прогноз образования перелетков мерзлых пород на дразных полигонах. — В кн.: Мерзлотные исследования. М.: Изд-во МГУ, 1967, вып. 7, с. 75—82.

Гарагуля Л.С. Прогноз и оценка антропогенных изменений мерзлотных условий (на примере равнинных территорий): Автореф. дис. ... д-ра геол.минерал. наук. М., 1982, 55 с.

Горбунов А.П. Вечная мерзлота Тянь-Шаня, Фрунзе: Илим, 1967, 165 с.

Горбунов А.П. О вертикальной мерзлотной поясности горных стран. — В кн.: Режим ледников Казахстана, Алма-Ата, 1971, с. 97—102.

Горбунов А.П. Пояс вечной мерзлоты Тянь-Шаня: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук, М., 1974, 33 с.

Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение. М.: Изд-во МГУ, 1967, 403 с.

Ершов Э.Д. Влагоперенос и криогенные тектуры в дисперсных породах. М.: Изд-во МГУ, 1979, 214 с.

Жесткова Т.Н. Формирование криогенного строения грунтов. М.: Наука, 1982, 216 с.

Клебанер Л.Б. О периодах вычисления норм средней месячной температуры воздуха. — Тр. ГГО, 1969, вып. 258, с. 114—118.

Колосков П.И. Ближайшие задачи и методы изучения сезонной мерзлоты почвы. — Мерзлотоведение, 1946, т. 1, вып. 2, с. 119—124.

Кудрявцев В.А. Температура верхних горизонтов вечномерзлой толщи в пределах СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1954, 184 с.

Кудрявцев В.А. Основные проблемы общего и регионального мерзлотоведения на ближайшие годы. — В кн.: Мерзлотные исследования, М.: Изд-во МГУ, 1967, вып. 7, с. 38.

Луговой П.Н. Особенности геокриологических условий горных стран. М.: Наука, 1970, 135 с.

Мелентьев В.С., Гордеева Г.И., Артеменко И.Г. Влияние подземных вод на формирование температурного режима вышележащих горных пород. — В кн.: Материалы VIII Всесоюз. междувед. совещ. по геокриологии (мерзлотоведению). Якутск, 1966, вып. 7, с. 43—50.

Мерзлотоведение / Под ред. Кудрявцева В.А. М.: Изд-во МГУ, 1981, 239 с.

Мерзлые горные породы. — БСЭ. 3-е изд., 1974, т. 16, с. 87.

Методика комплексной мерзлотно-геологической и инженерно-геологической съемки масштабов 1:200 000 и 1:500 000. М.: Изд-во МГУ, 1970, 354 с.

Методика мерзлотной съемки / Под ред. Кудрявцева В.А. М.: Изд-во МГУ, 1979, 358 с.

Некрасов И.А. Особенности строения слоя сезонного промерзания в пределах пойменных таликов. — В кн.: Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 71—74.

Общее мерзлотоведение / Сумгин М.И., Качурин С.П., Толстихин Н.И., Тумель В.Ф. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940, 340 с.

Общее мерзлотоведение / Под ред. Мельникова П.И., Толстихина Н.И. Новосибирск: Наука, 1974. Гл. 1. Толстихин Н.И. Терминология. Предмет. Метод. Место мерзлотоведения среди других наук, с. 5—14, Гл. 4. Павлов А.В. Сезонное промерзание и протаивание горных пород, с. 44—79.

Общее мерзлотоведение / Кудрявцев В.А., Достовалов Б.Н., Романовский Н.Н., Кондратьева К.А. М.: Изд-во МГУ, 1978, 463 с.

Основные понятия и термины геокриологии (мерзлотоведения). М.: Изд-во АН СССР, 1956, 16 с.

Основы геокриологии (мерзлотоведения) / Под ред. Цытовича Н.А. Баранова И.Я., Достовалова Б.Н. и др. М.: Изд-во АН СССР, 1959. ч. 1. Общая геокриология, 459 с. Гл. 7. Баранов И.Я. Географическое распространение сезоннопромерзающих почв и многолетнемерзлых горных пород, с. 193—218. Гл. 8. Кудрявцев В.А. Температура, мощность и прерывистость толщ мерзлых пород, с. 219—273.

Павлов А.В. Теплообмен промерзающих и протаивающих грунтов с атмосферой. М.: Наука, 1965, 254 с.

Павлов А.В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. Якутск, 1975, 302 с.

Пармузина О.Ю. О динамике криогенного строения грунтов сезонноталого слоя. — Вестн. МГУ. Сер. V, География, 1977, № 6, с. 91–94.

Пармузина О.Ю. Криогенное строение и некоторые особенности льдовыделения в мерзлых рыхлых породах (на примере низовьев рек Енисей и Рывеем): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук, М., 1978, 24 с.

Пармузина О.Ю. К вопросу о перераспределении влаги в мерзлых грунтах (по натурным наблюдениям). — В кн.: Проблемы криологии / Под ред. проф. Попова А.И. М.: Изд-во МГУ, 1979, вып. 8, с. 194–197.

Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования: Методическое руководство. М.: Изд-во АН СССР, 1961, 423 с.

Полуостров Ямал (инженерно-геологической очерк) / Под ред. Трофимова В.Т. М.: Изд-во МГУ, 1975, 278 с.

Попов А.И. Мерзлотные явления в земной коре: (Криология). М.: Изд-во МГУ, 1967, 304 с.

Попов А.И. Карта криогенных горных пород Западной Сибири. — В кн.: Мерзлотные исследования. М.: Изд-во МГУ, 1969, вып. 9, с. 10–16.

Попов А.И. О генетической системе перигляциальных образований. — Вестн. МГУ. Сер. V, География, 1970, с. 53–58.

Попов А.И., Тушинский Г.К. Мерзлотоведение и гляциология. М.: Высш. школа, 1973, 271 с.

Пчелинцев А.М. Строение и физико-механические свойства мерзлых грунтов. М.: Наука, 1964, 260 с.

Сиденко П.Д. О некоторых понятиях в мерзлотоведении. — В кн.: Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1955, вып. 2, с. 57–58.

Соловьев П.А. Зональность мощности сезоннопротаивающего слоя и картирование ее в Западной и Южной Якутии. — В кн.: Сезонное протаивание и промерзание грунтов на территории Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1966, с. 14–20.

Соловьев П.А. Объект исследования в геокриологии. — В кн.: Проблемы геокриологии. Новосибирск: Наука, 1973, с. 8–18.

Соловьев П.А. Классификация типов сезонного промерзания и протаивания в геолого-географическом аспекте. — В кн.: Региональные и тематические геокриологические исследования. Новосибирск: Наука, 1975, с. 86–97.

Соловьев П.А. Мощность поверхностной сезонномерзлой толщи на территории Якутии. — В кн.: Геокриологические и гидрогеологические исследования Якутии. Якутск, 1978, с. 3–12.

Средняя многолетняя температура воздуха по зарубежной территории и акватории северного полушария / Под ред. Шаровой В.Я. Л.: Гидрометеиздат, 1970, 148 с.

Стоценко А.В. Сезонное промерзание грунтов Дальнего Востока вне области вечной мерзлоты. М.: Изд-во АН СССР, 1952, 248 с.

Строительные нормы и правила (СНиП-11-15-74). Ч. II. Нормы проектирования. Гл. 15. Основания зданий и сооружений. М., 1975, 16 с.

Строительные нормы и правила (СНиП-11-18-76). Ч. II. Нормы проектирования. Гл. 18. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М., 1977, 46 с.

Сумгин М.И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. Владивосток, 1927, 372 с.

Сумгин М.И. Вечная мерзлота. Л.: Изд-во АН СССР, 1934, 84 с.

Сумгин М.И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. 2-е доп. изд. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937, 379 с.

Тыртыков А.П. Опыт использования растительности в качестве индикатора состава и свойств сезонноталого, сезонномерзлого слоев и многолетнемерзлой толщи в Игарском районе. — Изв. Сиб. отд-ния АН СССР, 1960, № 11, с. 34–40.

Тыртыков А.П. Мощность сезонноталого слоя почвы в районе Игарки. — Тр./Игарской научно-исследовательской мерзлотной станции. М., 1961, вып. 2, с. 91–96.

Федотова Е.Д. Сезонное промерзание почвы в Татарской АССР и смежных областях Среднего Поволжья. Казань: Изд-во КГУ, 1965, 155 с.

Фельдман Г.М. Методическое пособие по прогнозу температурного режима вечномерзлых грунтов (на примере севера Западной Сибири). Якутск, 1983, 40 с.

Фотиев С.М. Строение криогенной толщи Западной Сибири. — Тр./ ПНИИИС, 1972, т. 18, с. 111–123.

Фотиев С.М., Данилова Н.С., Шевелева Н.С. Геокриологические условия Средней Сибири. М.: Наука, 1974, 147 с.

Фотиев С.М. Гидро-геотермические особенности криогенной области СССР. М.: Наука, 1978, 236 с.

Хомичевская Л.С. О понятии "деятельный слой" в области распространения многолетнемерзлых горных пород. — В кн.: Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1965, вып. 2, с. 45–51.

Хромов С.П., Мамонтова Л.М. Метеорологический словарь. 3-е изд. перераб. и доп. Л.: Гидрометеиздат, 1974, 568 с.

Чернядьев В.П. Мелкомасштабное картирование глубин сезонного промерзания. — В кн.: Материалы VIII Всесоюз. междувед. совещ. по геокриологии (мерзлотоведению). Якутск, 1966, вып. 2, с. 74–82.

Шац М.М. Особенности геокриологической поясности в горах Алтая и Саян. — В кн.: Геокриологические условия в горах и на равнинах Азии. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1978, с. 27–33.

Швецов П.Ф. Вводные главы к основам геокриологии. — В кн.: Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1955, вып. 1, 111 с.

Швецов П.Ф., Запорожцева И.В. Повторяемость и инженерно-геокриологическое значение двух-трехлетних повышенных температуры грунтов в Субарктике. — В кн.: Проблемы Севера, 1963, вып. 7, с. 22–46.

Шимановский С.В. Температурный режим, промерзание и протаивание грунтов на площадке стационара в Загорском районе Московской области. — В кн.: Сезонное промерзание грунтов и применение льда для строительных целей. М.: Изд-во АН СССР, 1957, с. 13–34.

Шполянская Н.А. Мерзлая зона литосферы Западной Сибири и тенденции ее развития. М.: Изд-во МГУ, 1981, 168 с.

Шумский П.А., Втюрин Б.И. Подземные льды. — В кн.: Доклады на международной конференции по мерзлотоведению. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 41—53.

Шур Ю.П. О переходном слое. — В кн.: Методы геокриологических исследований. М., 1975, с. 82—85 (Тр./ВСЕГИНГЕО, вып. 98.)

Шур Ю.П. Термокарст (к теплофизическим основам учения о закономерностях развития процесса). М.: Недра, 1977, с. 80.

Шур Ю.П. К изучению термокарста на основе системного подхода. — В кн.: Общее мерзлотоведение; Материалы к III Междунар. конф. по мерзлотоведению. Новосибирск: Наука, 1978, с. 131—141.

Яновский В.К. Экспедиция на р. Печоре по определению южной границы вечной мерзлоты. — В кн.: Труды Комис. по изуч. вечной мерзлоты. Л., 1933, т. 2, с. 65—149.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава I	
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ	7
О понятиях "промерзание" и "протаивание" горных пород	7
Представления М.И. Сумгина о сезонной мерзлоте и ее месте среди других градаций мерзлых пород	10
Современные представления о слое сезонного промерзания и слое сезонного протаивания.	13
О понятии "сезоннокриогенные горные породы"	21
О длительности репрезентативного периода изучения сезоннокриогенных пород	25
Глава II	
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АГРАДАЦИОННОЙ ФАЗЫ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД	26
Основные закономерности сезонного промерзания горных пород	26
Закономерности процесса формирования сезонномерзлых пород	33
Классификация процесса формирования сезонномерзлых пород	42
Зональность процесса формирования сезонномерзлых пород	49
Глава III	
ОСОБЕННОСТИ АГРАДАЦИОННОЙ ФАЗЫ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД	51
Распространение сезонномерзлых пород	51
Мощность сезонномерзлых пород	55
Криогенное строение сезонномерзлых пород	61
Льдообразование и подземные льды	61
Криогенные текстуры и криогенное сложение	67
Классификация криогенного строения сезоннокриогенных пород	74
Глава IV	
ОБЩАЯ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЕЗОННОМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД И ПРИНЦИПЫ ИХ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ	76
Глава V	
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕГРАДАЦИОННОЙ ФАЗЫ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД	79
Основные закономерности сезонного протаивания и формирования сезонноталых пород	79
Общая классификация процесса формирования сезонноталых пород	89
Глава VI	
ОСОБЕННОСТИ ДЕГРАДАЦИОННОЙ ФАЗЫ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД И ИХ ОБЩАЯ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ	91
Распространение сезонноталых пород	91
Мощность сезонноталых пород	92
Общая морфогенетическая классификация сезонноталых пород	93
Глава VII	
ОСОБЕННОСТИ, ОБЩАЯ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИПЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СЕЗОННОКРИОГЕННЫХ ПОРОД	96
Основные особенности сезоннокриогенных пород	96
Общая морфогенетическая классификация сезоннокриогенных пород	105
Принципы картографирования сезоннокриогенных пород	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
ЛИТЕРАТУРА	115

Вторина Екатерина Алексеевна

**СЕЗОННОКРИОГЕННЫЕ
ГОРНЫЕ ПОРОДЫ**

*Утверждено к печати Производственным
и научно-исследовательским институтом
по инженерным изысканиям
в строительстве Госстроя СССР*

Редактор издательства

А.А. Фролова

Художник

Ю.С. Шлепер

Художественный редактор

М.В. Версоцкая

Технический редактор

Г.И. Астахова

Корректор

В.Н. Пчелкина

Набор осуществлен в издательстве
на наборно-печатающих автоматах

ИБ № 27858

Подписано к печати 06.04.84. Т — 09117
Формат 70 x 100 1/16

Бумага книжно-журнальная

Гарнитура Универс. Печать офсетная

Усл. печ. л. 9,8 + 1,6 вкл. Усл. кр.-отт. 11,6
Уч.-изд.л. 14,1. Тираж 600 экз. Тип. зак. 1328
Цена 2 р. 10 к.

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7
Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90
Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12

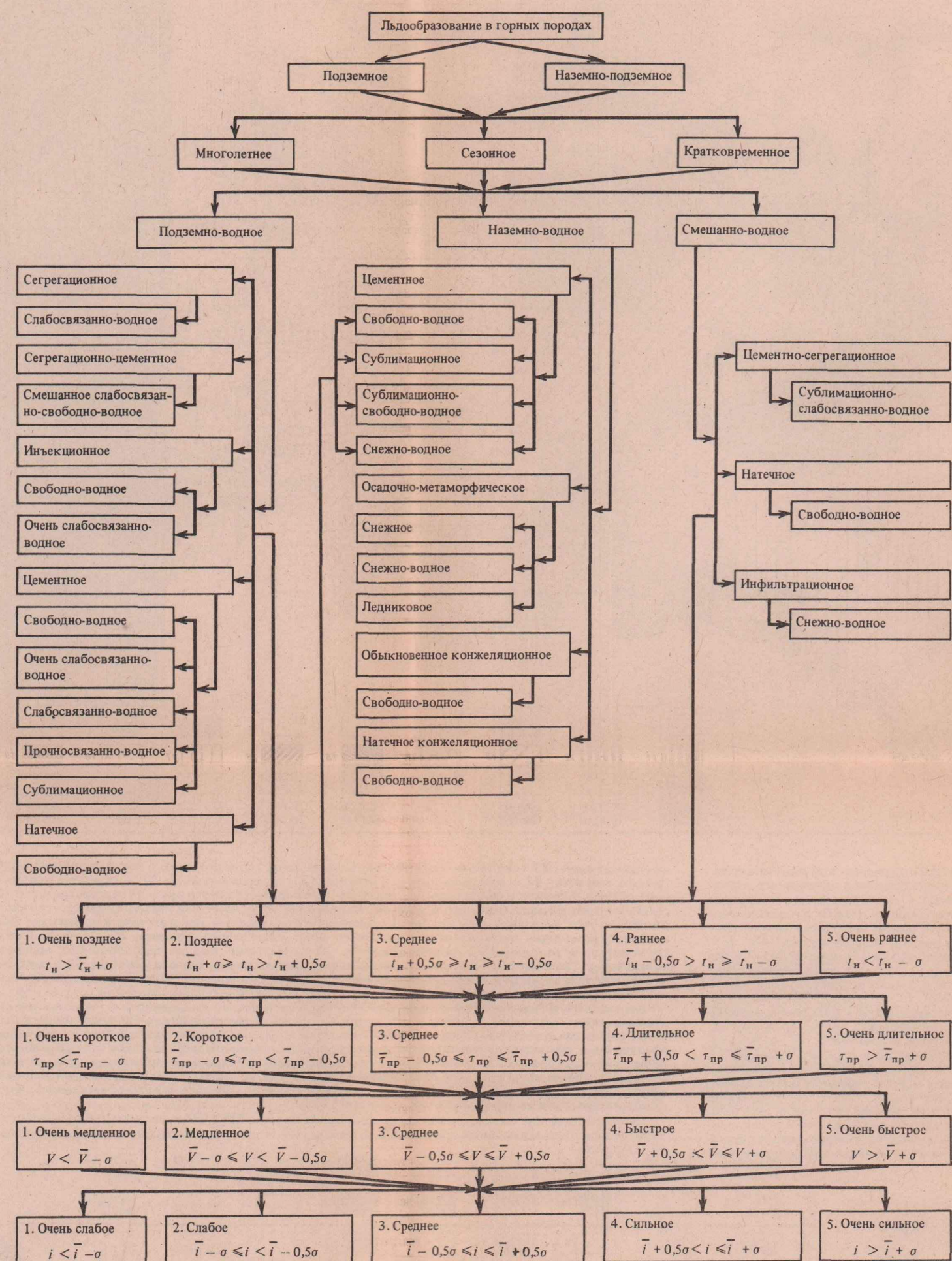


Рис. 16. Общая классификация процесса льдообразования в СКП

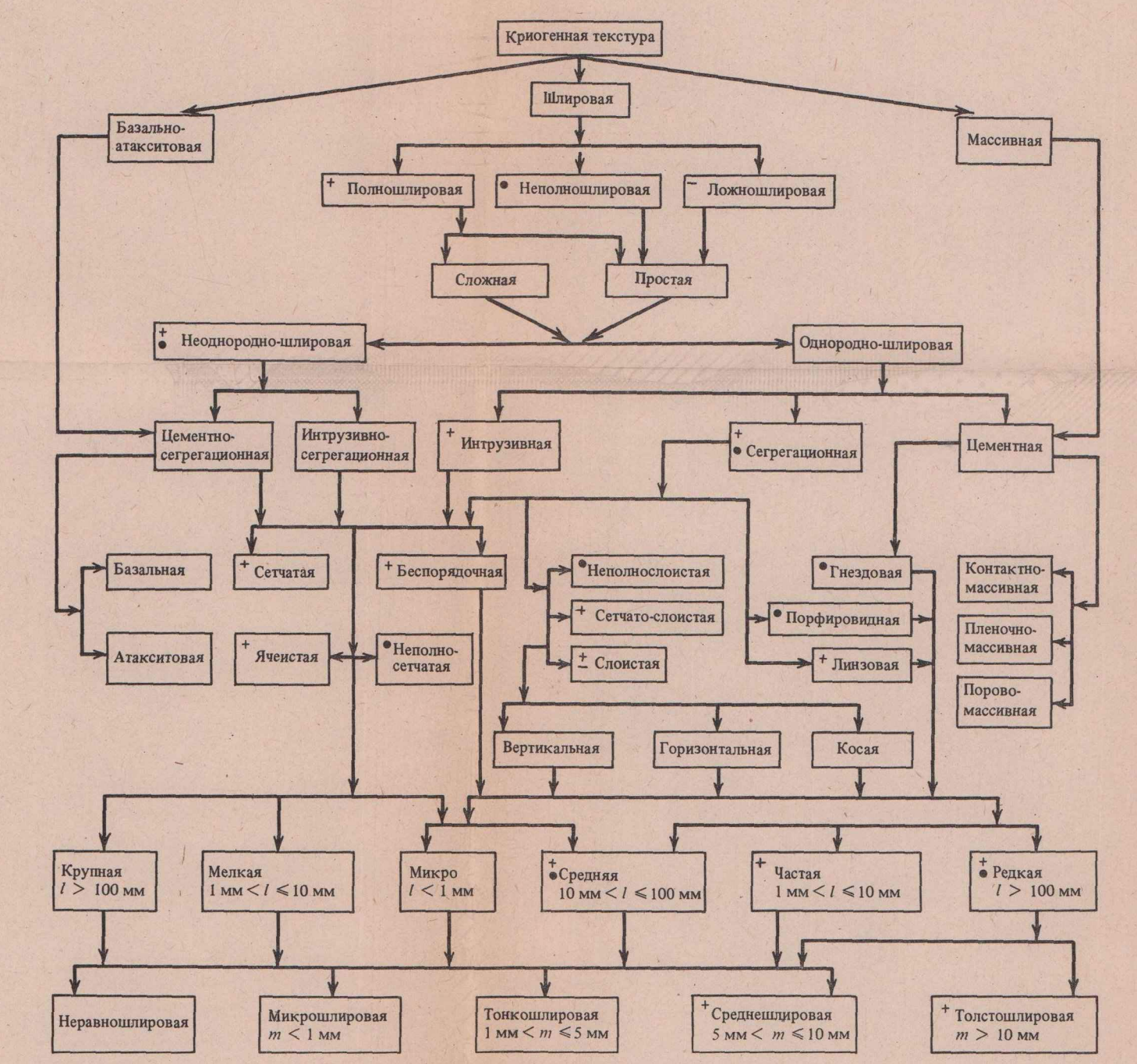


Рис. 18. Классификация криогенных текстур дисперсных СКП

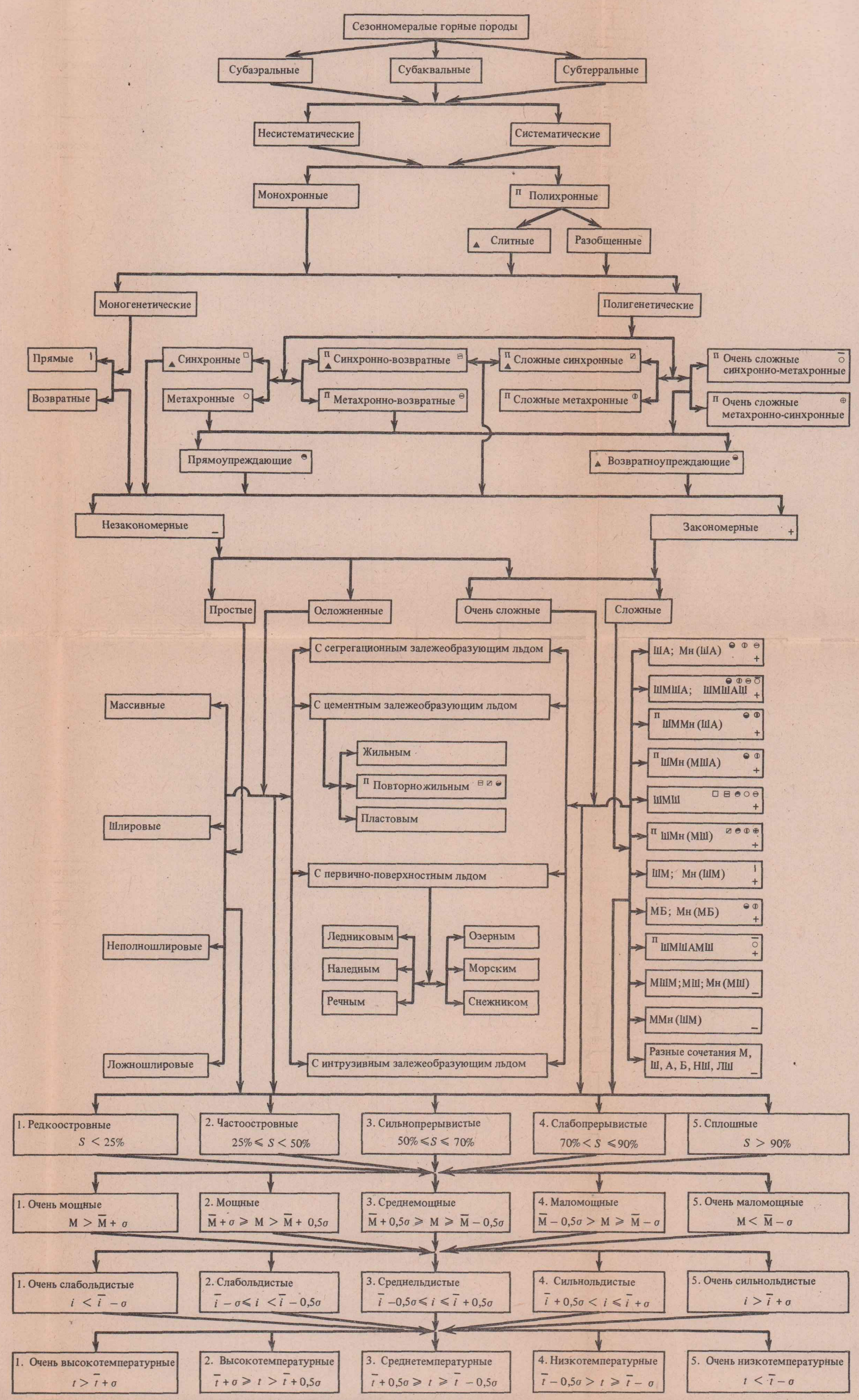


Рис. 22. Общая морфогенетическая классификация СКП

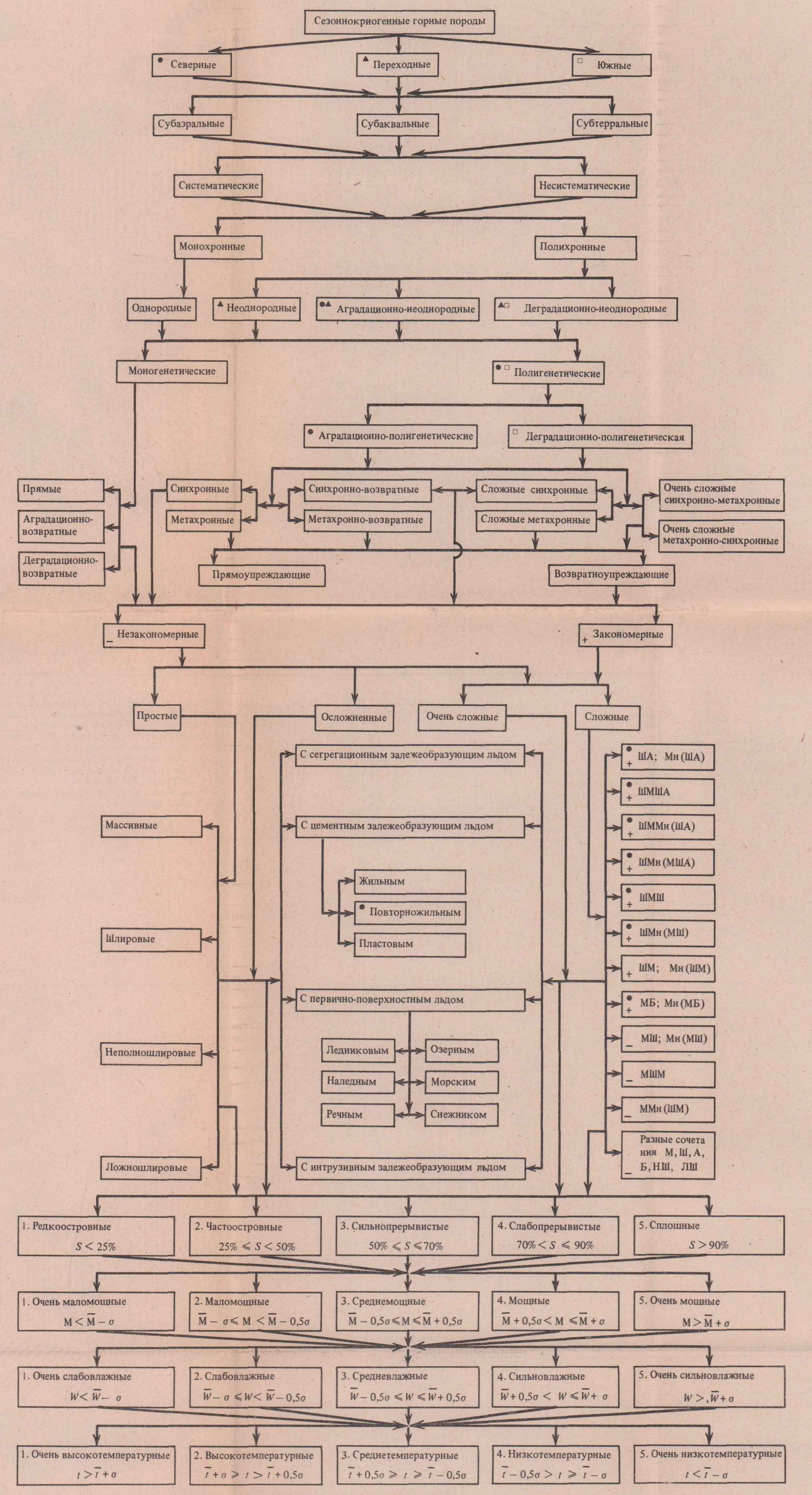


Рис. 22. Общая морфогенетическая классификация СКП

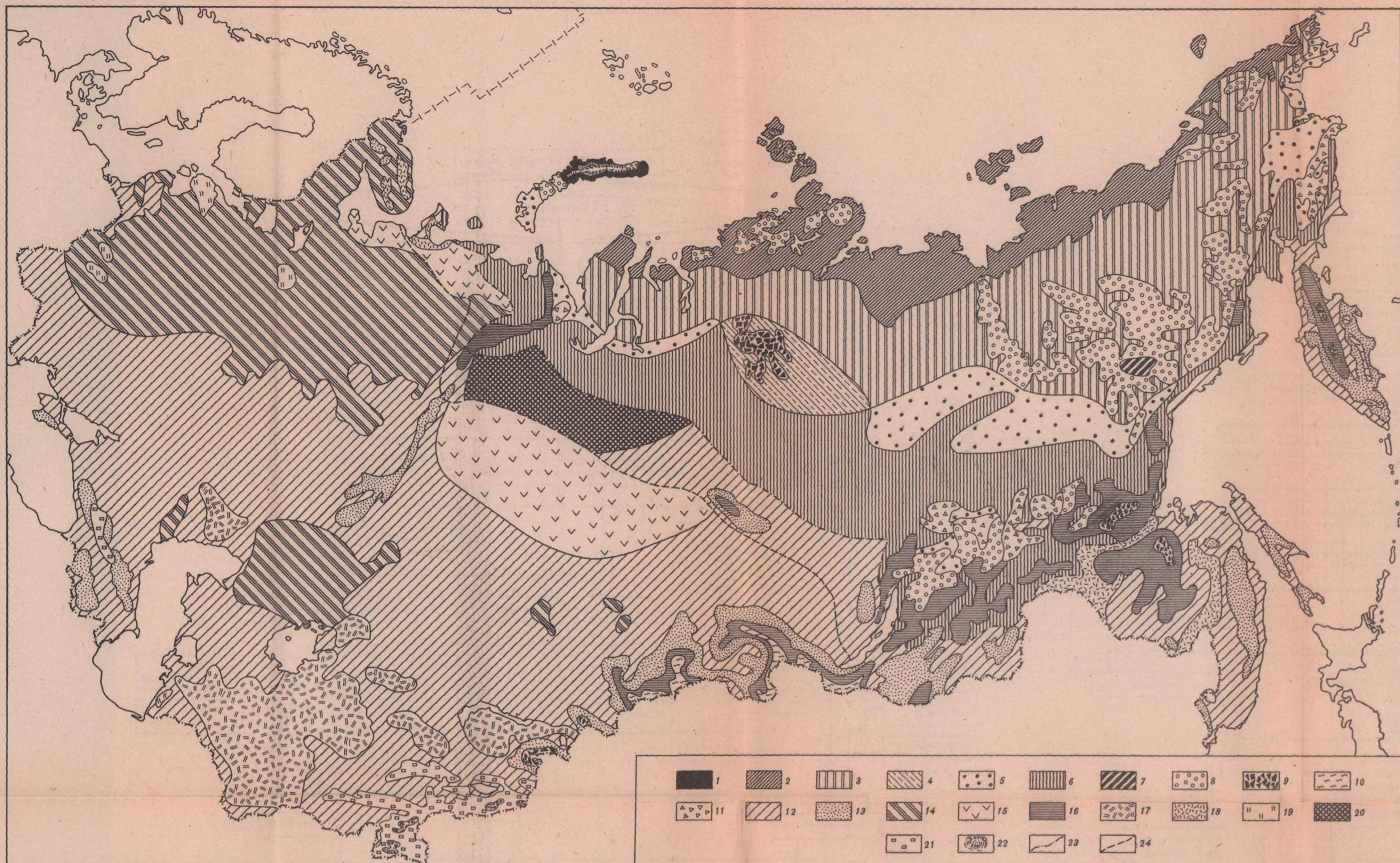


Рис. 21. Карта-схема криогенного строения СМП. Составила Е.А. Втюрина
1-6 — очень сложное преимущественно закономерно: 1 — двухгоризонтное широво-атакситовое (ША) и массивно-базальное (МБ), реже четырехгоризонтное ША и МБМБ с повторицильным льдом (ПЖЛ), возможны погребенные парвично-поверхностные льды (ледниковый, морской, речной, озерный и погребенные снежники); 2 — то же, без участия погребенного ледникового льда; 3 — четырехгоризонтное (ШМША), реже шестигоризонтное (ШМШАША) с ПЖЛ, реже погребенным наледным, озерным, речным льдом и погребенными снежниками; 4 — то же, без ПЖЛ; 5 — трехгоризонтное (ШМШ) и пятигоризонтное (ШМШМШ) с ПЖЛ, возможен погребенный наледный, речной, озерный; 6 — то же, без ПЖЛ. 7-11 — очень сложное преимущественно не закономерно: 7 — с базальным или атакситовым нижним горизонтом, с ПЖЛ, погребенным ледниковым, наледным, снежниками, возможно озерным и речным льдом; 8 — то же, что и 7, но без погребенного ледникового льда; 9 — то же, что и 7, но без ПЖЛ и погребенного ледникового льда; 10 — то же, что и 7, но с возможным ПЖЛ; 11 — со шировым и массивным нижним горизонтом, с ПЖЛ, погребенным наледным льдом и снежниками. 12 — сложное; преимущественно закономерное двухгоризонтное (ШМ), 13-15 — сочетания: 13 — закономерного двухгоризонтного ШМ и не закономерного многогоризонтного (МнШМ), преимущественно с массивным нижним горизонтом; 14 — закономерного двухгоризонтного ШМ и простого массивного; 15 — закономерного двухгоризонтного ШМ и простого ложношипового. 16 — преимущественно не закономерное со шировым и массивным нижним горизонтом. 17-19 — простое; 17 — массивное; 18 — ложношиповое; 19 — шировое. 20 — сочетание массивного и ложношипового. 21 — сочетание ряда граваций криогенного строения СМП, меняющихся с высотой от простого массивного и двухгоризонтного ШМ до очень сложного МБ и ШМША с разными типами залегающего льда. 22 — ледники.

Границы зоны наиболее частоты развития залегающего сегрегационного и интрузивного льда в СМП: 23 — северная, 24 — южная

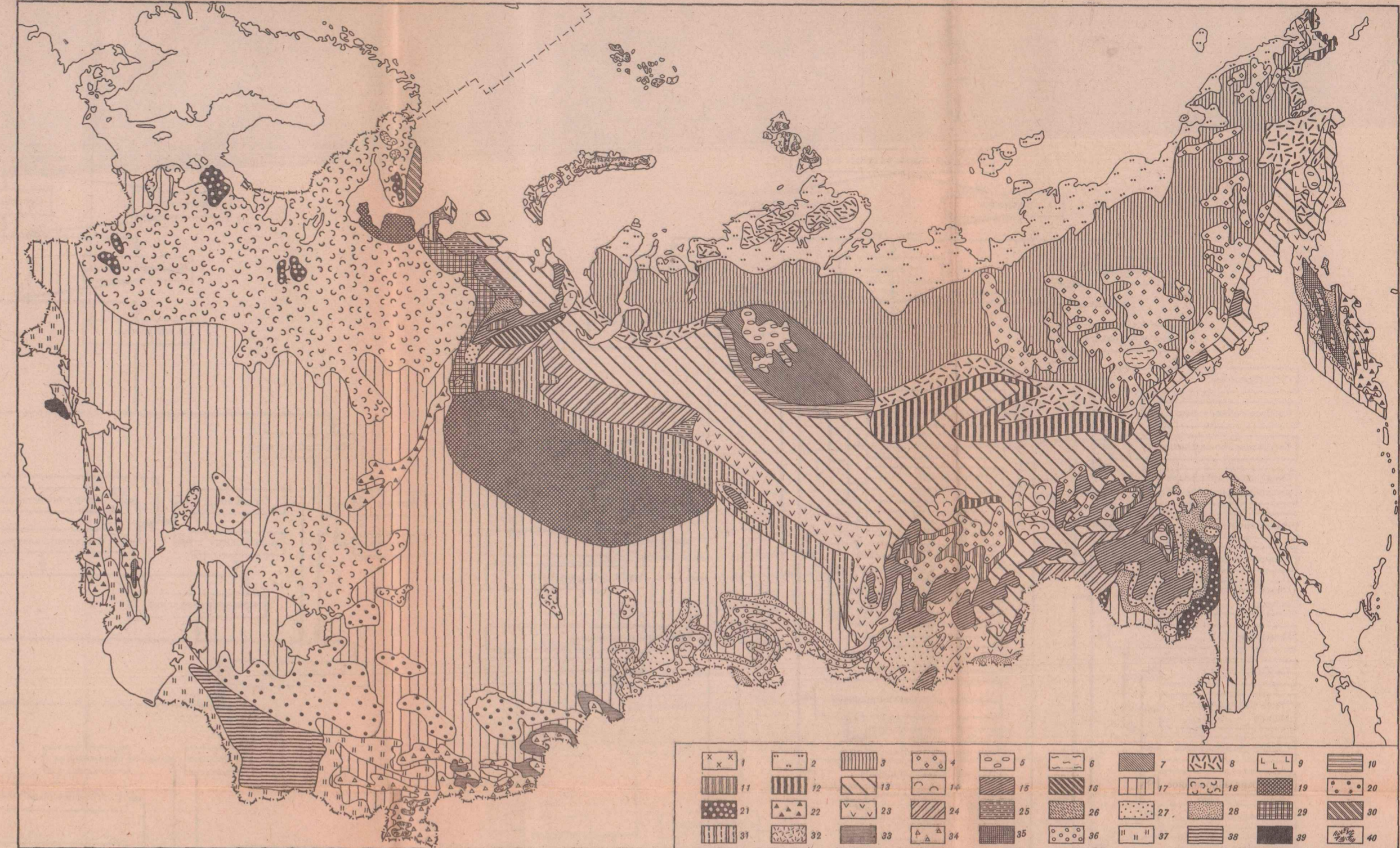


Рис. 23. Обзорная карта-схема СМП. Составила Е.А. Втюрина
Северная зона: систематические полихронные слитые полигенетические СМП. Северная подзона: метакрионные, метакрион-возвратные, реже сложные метакрионные возвратноупреждающие очень сложного криогенного строения: 1 — закономерного двухгоризонтного (МБ), реже четырехгоризонтного (МБМБ) с комплексом залегающих льдов; 2 — закономерного двухгоризонтного (ША), реже четырехгоризонтного (ШАША) с ПЖЛ; 3 — закономерного четырехгоризонтного, реже шестигоризонтного с ПЖЛ; 4 — не закономерное с одним или двумя базальными или атакситовыми горизонтами с ПЖЛ; 5 — то же, без погребенных ледниковых льдов и установленных ПЖЛ; 6 — то же, но возможны погребенные ледниковые льды; 7 — сложное закономерное четырех- и шестигоризонтного криогенного строения (ШМША, ШМШАША). Средняя подзона: синхронные, синхронно-возвратные, реже сложные синхронные очень сложного криогенного строения; 8 — закономерного трех- и пятигоризонтного (ШМШ и ШМШМШ) с ПЖЛ; 9 — не закономерное со шировым и массивным нижним горизонтом с ПЖЛ; 10 — сложное закономерное трех- и пятигоризонтного (ШМШ и ШМШМШ); 11 — сложное не закономерное со шировым и массивным нижним горизонтом. Южная подзона: метакрионные, метакрион-возвратные и сложные метакрионные прямоупреждающие: 12 — закономерное очень сложное с ПЖЛ; 13 — закономерного сложного трех- и пятигоризонтного; 14 — не закономерное с массивным, реже шировым нижним горизонтом; 15 — того же не закономерного и простого массивного; 16 — сочетание метакрионных прямоупреждающих и синхронных СМП, преимущественно не закономерное криогенного строения, меняющихся с высотой. Южная зона: систематические монохронные моногенетические прямые сложного, реже очень сложного криогенного строения; 17 — закономерного двухгоризонтного (ШМ); 18 — сочетание закономерного двухгоризонтного (ШМ) и простого массивного; 19 — сочетание того же двухгоризонтного и простого, реже осложненного ложношипового; 20 — простого массивного; 21 — сочетание простого ширового и ложношипового; 22 — не закономерное сложного, реже очень сложного. Переходная зона: не систематические поли- и монохронные. Преимущественно полихронные моногенетические прямые, реже полигенетические метакрионные прямоупреждающие: 23 — закономерного сложного, реже очень сложного двух- и трехгоризонтного (ШМ и ШМШ) криогенного строения; 24 — сочетание простого массивного и ложношипового; 25 — сочетание простого, реже осложненного ложношипового и закономерного сложного, реже очень сложного двух- и трехгоризонтного (ШМ и ШМШ); 26 — сочетание того же закономерного и простого массивного; 27 — сочетание не закономерного сложного и простого массивного. Преимущественно монохронные моногенетические прямые: 28 — закономерного сложного, реже очень сложного двухгоризонтного (ШМ) криогенного строения; 29 — сочетание того же закономерного, простого и осложненного ложношипового; 30 — сочетание того же закономерного, простого и осложненного массивного; 31 — сочетание простого и осложненного массивного и ложношипового; 32 — сочетание закономерного сложного, реже очень сложного двухгоризонтного (ШМ), не закономерного многогоризонтного, простого и осложненного массивного.

Сочетания и меняющиеся с высотой: 33 — систематических монохронных и не систематических поли- и монохронных моногенетических прямых СМП, преимущественно не закономерного сложного и простого массивного, реже очень сложного криогенного строения; 34 — не систематических моно- и полихронных и всех типов систематических полихронных слитых полигенетических не закономерного сложного и простого криогенного строения; 35 — не систематических моно- и полихронных и систематических метакрионных прямоупреждающих и синхронных не закономерного сложного и простого криогенного строения; 36 — систематических полихронных полигенетических возвратноупреждающих и синхронных, преимущественно не закономерного простого массивного, сложного, реже очень сложного криогенного строения. Не систематические монохронные моногенетические прямые СМП: 37 — закономерного сложного двухгоризонтного (ШМ) и простого массивного криогенного строения; 38 — простого массивного; 39 — не закономерного сложного, 40 — ледники.

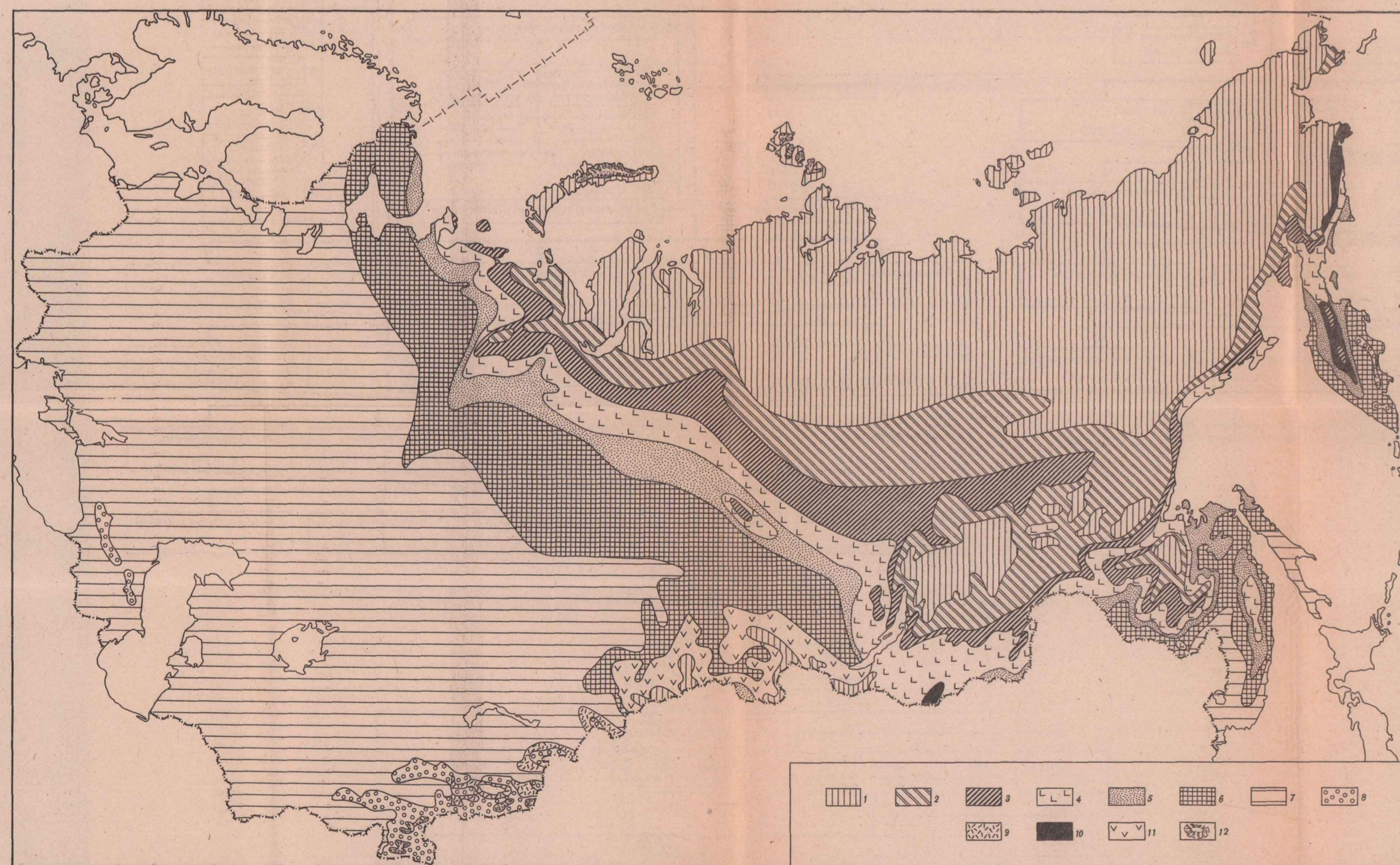


Рис. 25. Карта-схема структуры календарного периода формирования СМП. Составила Е.А. Втюрина
1-4 — сложные структуры: 1 — трехкомпонентная, 2 — промежуточная северная, 3 — промежуточная южная, 4 — двухкомпонентная; 5-6 — переходные: 5 — северная, 6 — южная; 7 — простая; 8-11 — сочетания: 8 — всех подтипов и видов сложной, меняющихся с высотой, начиная от двухкомпонентной; 9 — простой и переходной, меняющихся с высотой, начиная от простой; 10 — обоих видов промежуточной сложной; 11 — переходной северной, двухкомпонентной и двух видов сложной промежуточной, меняющихся с высотой. 12 — ледники

видов сложной, меняющихся с высотой, начиная от двухкомпонентной; 9 — простой и переходной, меняющихся с высотой, начиная от простой; 10 — обоих видов промежуточной сложной; 11 — переходной северной, двухкомпонентной и двух видов сложной промежуточной, меняющихся с высотой. 12 — ледники

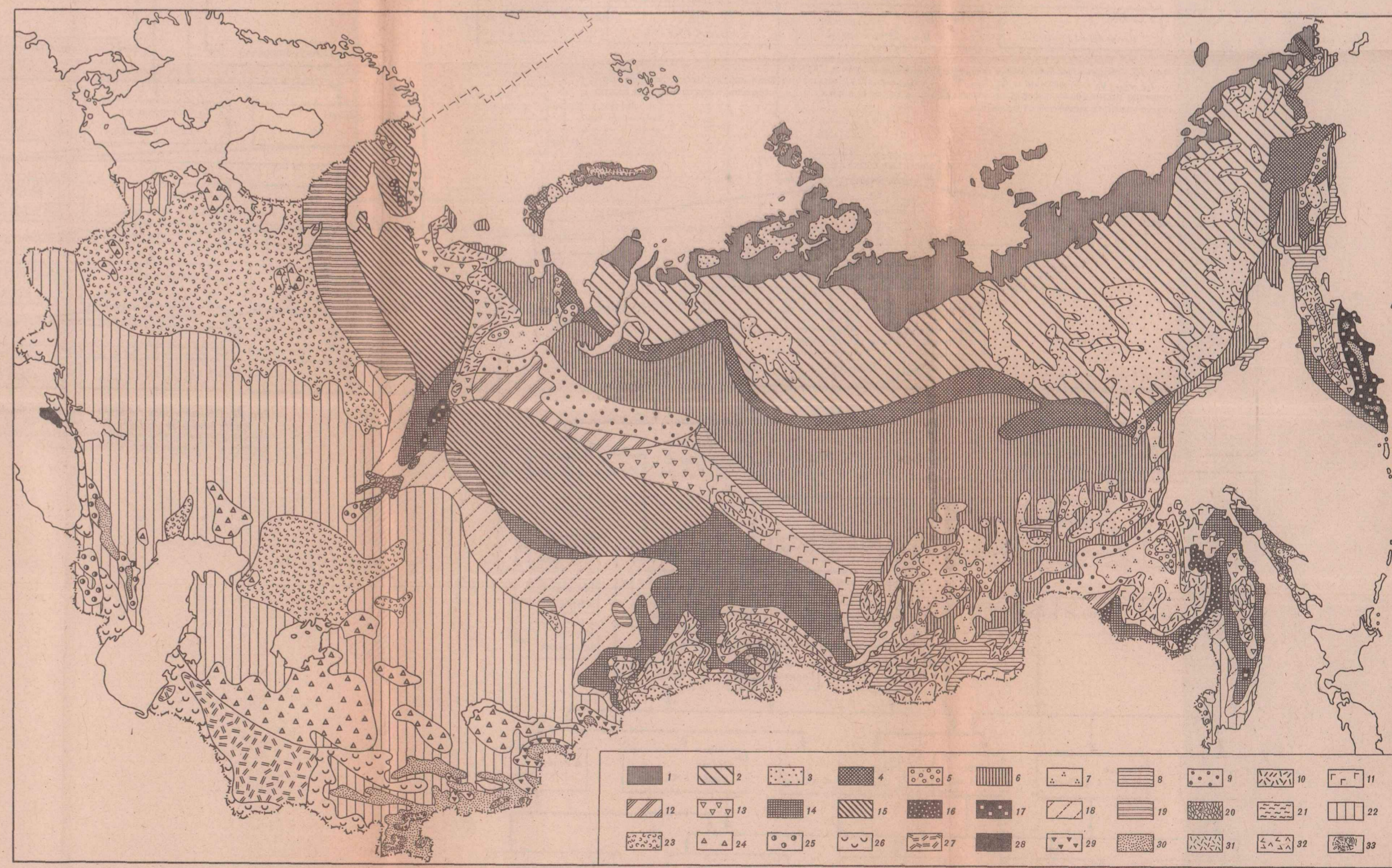


Рис. 33. Обзорная карта-схема СМП. Составила Е.А. Втюрина
Северная зона: систематические, аградационно-полихронные, полигенетические, аградационно-неоднородные, С в в р н в в СМП; систематические, аградационно-полихронные, полигенетические, аградационно-неоднородные, очень сложного и простого криогенного строения. Метакрионные возвратноупреждающие: 1 — закономерного двух- и четырехгоризонтного криогенного строения; 2 — закономерного четырех- и шестигоризонтного; 3 — не закономерное. Синхронные: 4 — закономерного трех- и пятигоризонтного криогенного строения; 5 — не закономерного. Метакрионные прямоупреждающие: 6 — закономерного трех- и пятигоризонтного криогенного строения; 7 — не закономерного. Переходные в СМП: чередующие поли- и монохронные, неоднородные, моно- и полигенетические, простого и осложненного и очень сложного криогенного строения. Аградационно-неоднородные, часто аградационно-полигенетические: 8 — закономерного двухгоризонтного криогенного строения; 9 — не закономерного; 10 — сочетание закономерного и не закономерного. Аградационно-неоднородные, часто аградационно-полигенетические: 11 — преимущественно закономерного двухгоризонтного строения; 12 — не закономерного; 13 — сочетание закономерного и не закономерного. Южная зона: систематические аградационно-полихронные, полигенетические, аградационно-неоднородные, преимущественно простого и сложного криогенного строения. Метакрионные прямоупреждающие: 14 — закономерного двухгоризонтного криогенного строения; 15 — сочетание закономерного и не закономерного; 16 — простого; 17 — сложного не закономерного. Синхронные: 18 — закономерного двухгоризонтного криогенного строения; 19 — сочетание того же закономерного и простого; 20 — сложного не закономерного; 21 — простого. Метакрионные возвратноупреждающие: 22 — закономерного двухгоризонтного криогенного строения; 23 — сочетание того же закономерного и простого; 24 — простого; 25 — не закономерного сложного, реже очень сложного. Аградационно-не систематические: 26 — сочетание закономерного двухгоризонтного и простого криогенного строения; 27 — простого; 28 — не закономерного сложного. Сочетания и в разных генетических граваций СМП, меняющихся с высотой, преимущественно не закономерного простого, сложного, реже очень сложного и осложненного криогенного строения: 29 — всех граваций СМП; 30 — аградационно-неоднородных, часто аградационно-полигенетических СМП; 31 — той же гравации СМП, метакрионных прямоупреждающих и синхронных СМП; 32 — синхронных и метакрионных возвратноупреждающих СМП; 33 — ледники

закономерного двухгоризонтного криогенного строения; 15 — сочетание закономерного и не закономерного; 16 — простого; 17 — сложного не закономерного. Синхронные: 18 — закономерного двухгоризонтного криогенного строения; 19 — сочетание того же закономерного и простого; 20 — сложного не закономерного; 21 — простого. Метакрионные возвратноупреждающие: 22 — закономерного двухгоризонтного криогенного строения; 23 — сочетание того же закономерного и простого; 24 — простого; 25 — не закономерного сложного, реже очень сложного. Аградационно-не систематические: 26 — сочетание закономерного двухгоризонтного и простого криогенного строения; 27 — простого; 28 — не закономерного сложного. Сочетания и в разных генетических граваций СМП, меняющихся с высотой, преимущественно не закономерного простого, сложного, реже очень сложного и осложненного криогенного строения: 29 — всех граваций СМП; 30 — аградационно-неоднородных, часто аградационно-полигенетических СМП; 31 — той же гравации СМП, метакрионных прямоупреждающих и синхронных СМП; 32 — синхронных и метакрионных возвратноупреждающих СМП; 33 — ледники

2р. 10 к.

4207

