

УДК 551.34

**Познанин В.Л.**

## Эрозионные процессы в криолитозоне

Познанин Валентин Львович, доктор географических наук, главный научный сотрудник отдела инженерно-геологических исследований Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) МПР-РАН.

В статье рассмотрен комплекс основных рельефообразующих процессов в криолитозоне, имеющих различный генезис, механизмы и особенности пространственно-временного развития, и характеризуемых наличием общего свойства – эрозионности.

**Ключевые слова:** криолитозона, эрозия, многолетнемерзлые породы, эрозионные процессы, эрозионность, рельефообразующие процессы.

В отличие от традиционных работ по экзогенному рельефообразованию в криолитозоне<sup>1</sup> мы решили рассмотреть объект исследования нетрадиционно: большинство процессов в рыхлых горных породах мы анализируем через степень их эрозионности. Такому подходу есть весьма серьезное обоснование, суть которого в том, что все генетическое многообразие физико-геологических (рельфообразующих) процессов эродировать сушу – будь то овражная или речная эрозия, солифлюкция, эоловые и т.д. процессы. Все процессы мы последовательно рассмотрим через степень их эрозионности и, вероятно, получим некий специфический ряд.

Специфика же отдельных процессов разрушения суши может быть выявлена путем исследования взаимодействия природных сред с многолетнемерзлыми породами, которые имеют почти повсеместное развитие в криолитозоне в виде скальных массивов и рыхлых льдосодержащих толщ. Последние обладают той особенностью, что при оттаивании резко падают их прочностные свойства и, следовательно, становится возможным массовое проявление деструктивных и транзитных процессов за счет воздействия эродировующих сред.

Воздействие солнечной радиации, ветра, воды и льда на горные породы носит в целом «разъедающий» характер. Такая оценка воздействия полностью соответствует термину «эрозия». Это позволяет условно отнести весь комплекс деструктивных и транзитных процессов на суше к эрозионным, хотя под собственно эрозией принято понимать лишь часть процессов водно-ветрового разрушения горных пород. Учитывая, что вся совокупность процессов приводит к «срезанию», т.е. к денудации поверхности суши, исследуем специфику проявления процессов на основе рассмотрения генезиса и, насколько это возможно, сущности отдельных процессов рельефообразования в криолитозоне с позиций их эрозионности.

Одним из основных эрозионных процессов в криолитозоне является нивация. Снежники рассматриваются многими исследователями как мощный геоморфологический фактор, что нашло свое отражение в публикациях Н.А. Солнцева, И.С. Шукина, В.П. Любимова, В.Ф. Перова и др.<sup>2</sup> Нивация, или снежниковая эрозия, является одним из гляциальных процессов рельефообразования; она имеет чрезвычайно широкое развитие в криолитозоне. Иногда нивация рассматривается в тесной парагенетической связи с формированием эрозионных и термоэрозионных форм рельефа, хотя с позиций выявления сущности процесса наиболее интересны работы по исследованию механизма нивации<sup>3</sup>. Среди этих публикаций особо выделяется исследование П.Ф. Швецова и М.М. Корейши<sup>4</sup>, в котором на основе изучения физической стороны протекания процесса установлено, что нивация активно проявляется не только близ снежников, но и по краям ледников, наледей, а также выброшенных на берег льдин<sup>5</sup>. Поэтому нивацию правильно рассматривать как комплекс специфических процессов воздействия снежно-ледовых образований на горные породы, в результате чего возникают характерные формы рельефа – ниши, кары,

<sup>1</sup> Воскресенский К.С. Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России. Автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. М., 1999. 32 с.; Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. Т. II. Геокриологические условия освоения Бованенковского месторождения / В.В. Баулин, В.И. Аксенов, Г.И. Дубиков и др. Тюмень: Ин-т проблем освоения Севера СО РАН, 1996. 240 с.; Суходровский В.Л. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. М.: Наука, 197. 280 с.

<sup>2</sup> Боч С.Г. Снежники и снежная эрозия в северных частях Урала // Известия Всесоюзного географического общества. Вып. 2. 1946. С. 48–56; Выркин В.Б. Об интенсивности физического выветривания горных пород вблизи снежников и наледей // Молодая наука БАМУ. Иркутск, 1977. С. 36; Любимов Б.П. О механизме нивальных процессов // Подземный лед. Вып. 3. 1967.

<sup>3</sup> Корейша М.М. Оледенение Верхоянско-Кольмской области. М.: 1991. 143 с.; Любимов Б.П. Указ. соч.; Перов В.Ф. Снежники, ледники и мерзлотный рельеф Хибинских гор. М.: Наука, 1968. 120 с. и др.

<sup>4</sup> Швецов П.Ф., Корейша М.М. Об экзогенном процессе, называемом нивацией // Геоморфология. 1981. № 4. С. 24–31.

<sup>5</sup> Корейша М.М. Указ. соч.; Швецов П.Ф., Корейша М.М. Указ. соч.

цирки и другие. К нивационным разрушающим процессам принято относить морозное и термическое выветривание, солифлюкцию, течение и оплывание грунтов, плоскостный смыв и размыв, суффозию и растворение пород, а также медленное сползание самого снежника или срыв его отдельных частей<sup>1</sup>. С такой трактовкой нивации можно согласиться, поскольку рассматриваемый процесс в разных климатических условиях различен: в Арктике доминируют морозное выветривание и солифлюкция, в Субарктике – течение грунтов вдоль нижнего края снежника, а в умеренном поясе – суффозия и др.

Однако у единого процесса нивации должен быть единый механизм. Раньше считалось, что таким механизмом является частный переход температуры воздуха через 0° С вблизи края снежника. Этот тезис был отвергнут в 1968 г. В.Ф. Перовым<sup>2</sup>, который в Хибинских горах инструментально установил отсутствие таких температурных колебаний у края снежника. Следовательно, причина нивации иная. Специальные исследования этого вопроса<sup>3</sup>, а также наши полевые наблюдения показали, что между отступающим краем снега или льда и оголенной поверхностью грунта возникают большие температурные градиенты – при солнечной погоде до 100° С/м. Неравномерность нагревания солнечной радиацией и скачкообразность охлаждения мигрирующими ручейками талой воды скальных пород и различных по размеру, форме, расположению и цвету грунтовых частиц на расстоянии 10 – 30 см от края снежника приводит к активному дроблению обломков, их «шевелению» и столкновению мелких частиц. Процесс этот усиливается при срыве и падении частей снежника или крупных кристаллов конжеляционного льда при разрушении оседающих на берегах льдин на прогретый грунт, что вызывает термоупругие колебания в горных породах – тепловой удар – аналог происходящего при наледообразовании. Таким образом, по нашему мнению, природа нивации заключается в разрушении крупных обломков и во взаимном столкновении грунтовых частиц, что, по сути, представляет собой термогидромеханическое разьедание горных пород.

На равнинах известны лавиноподобные явления, которые проявляются в виде падения снежных карнизов с бровок обрывистых берегов рек и озер. Следы таких лавин были обследованы нами, на одном из участков долины реки Ясавэй-Яха на Ямале. Установлено, что при падении снежных карнизов плотные блоки метелевого снега срывали иссушенный испарением песчаный грунт на обрывистых оголенных участках берегов, в результате чего возникали мелкие линейные борозды вплоть до подножья обрыва. Сущность этого процесса заключается в механическом срыве, царапанье и сносе снегом дезинтегрированных частиц и слоев дисперсных горных пород. Этот процесс можно рассматривать как один из факторов разрушения берегов в криолитозоне.



*Термоабразия западного берега п-ова Ямал*

Основным береговым процессом в криолитозоне принято считать термоабразию. Термоабразия, или «тепловое соскабливание», представляет собой процесс разрушения берегов морей, озер, водохранилищ и рек, а также подводных береговых склонов, сложенных многолетнемерзлыми породами, под совместным механическим и тепловым воздействием водных масс водоемов<sup>4</sup>. Термоабразия приводит к отступанию береговых уступов за счет развития трещ, не наблюдаемых вне криолитозоны процессов – тепловой осадки дна, термоденудации береговых уступов и термоэрозии при волнении воды. Тепловая осадка углубляет прибрежную зону, облегчая доступ волн к береговым уступам, где при благоприятных условиях активно развиваются термоабразия и термоэрозия. Термоабразионное воздействие волн у подножья берегового уступа приводит к формированию волноприбойной ниши, углубление которой вызывает периодические обрушения

талых и мерзлых блоков и глыб. Эти накопления оттаивают и размываются водой, временно защищая береговую уступ от дальнейшего разрушения и играя роль естественных берегоукрепительных сооружений.

Интенсивность термоабразии определяется целым рядом переменных величин, наиболее значительными из которых являются тепловой и уровень режим у подножья берегового уступа, а также критическая льдистость. Именно она определяет два предельных случая развития берегов – ограниченное, когда тепловая осадка льдистых отложений при оттаивании не достигает уровня воды, и неограниченное, когда она примерно равна или даже ниже уровня воды. Ограниченное развитие берегов имеет место преимущественно на морских побережьях и на крупных озерах. У последних четко проявляется элемент зональности в развитии: чем севернее расположены озера, тем интенсивнее процессы разрушения их берегов, что увязывается с возрастанием скорости ветра и соответственно энергии волнения к северу<sup>5</sup>. У небольших по размерам озер наблюдается обратная картина, что однозначно указывает на существование теплового механизма в развитии их берегов при низкой энергии волнения.

Отсюда можно сделать вывод, что существует и промежуточный термомеханический вариант развития процесса, когда волны ударяют в мерзлые льдистые берега, не изолированные оттаявшим слоем хотя бы в пределах зоны контакта «вода – мерзлый грунт» волноприбойных ниш<sup>6</sup>. Именно в этих нишах при низких температурах, особенно морской воды в начале лета, возможно дополнительное выделение значительного количества энергии за счет кумулятивного эффекта при схлопывании волн в замкнутом пространстве. Кумуляция механической энергии в нишах, ее

<sup>1</sup> Перов В.Ф. Снежники, ледники и мерзлотный рельеф Хибинских гор. М.: Наука, 1968. 120 с.

<sup>2</sup> Там же.

<sup>3</sup> Корейша М.М. Указ. соч.; Швецов П.Ф., Корейша М.М. Указ. соч.

<sup>4</sup> Арз Ф.Э. Термоабразия морских берегов. М.: Наука, 1979. 159 с.

<sup>5</sup> Там же; Гоголев Е.С. Прогноз предельного развития береговой зоны водохранилищ в районах распространения сильнольдистых грунтов // Инженерное мерзлотоведение в гидротехнике: Материалы конференции и совещания по гидротехнике. Л., 1989. С. 187–190; Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. Т. II и др.

<sup>6</sup> Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. Т. II.

диссипация и трансформация части в тепловую являются дополнительными основаниями, чтобы охарактеризовать сущность термоабразии как процесса разрезания водой мерзлых толщ, т.е. эрозионного.

Наиболее типичным эрозионным процессом в криолитозоне является термоэрозия, которая развита в пределах северных территорий вплоть до южной границы мерзлоты<sup>1</sup>. Термоэрозия или тепловое разрезание грунта представляет собой процесс разрушения многолетнемерзлых пород водными потоками. Принято различать три вида термоэрозии: бороздчатую, овражную и речную, причем первый вид можно рассматривать как начальную стадию овражной термоэрозии.

В настоящее время термоэрозии посвящено более 100 опубликованных работ, по данной тематике защищено 5 кандидатских диссертаций. Однако механизм термоэрозии рассматривается лишь с позиций влияния состава, строения и свойств мерзлых грунтов на интенсивность протекания процесса при заданной кинетической энергии условных водных потоков<sup>2</sup>.

При этом часть исследователей отчетливо осознает сложный термогидромеханический характер взаимодействия водных потоков с мерзлым грунтом, но не рассматривает само взаимодействие в силу его сложности и отсутствия необходимых данных полевых наблюдений. Вместе с тем, именно исследование взаимодействия на режимных площадках позволило нам выявить особенности механизма термоэрозии<sup>3</sup>. Специальное исследование взаимодействия водных потоков с мерзлыми грунтами дало возможность выявить сущность термоэрозии. Вкратце она заключается в термогидромеханическом разрезании мерзлых толщ водными потоками, в результате чего возникают строго определенные формы рельефа, которые отражают искаженную взаимодействием внешнюю структуру эродирующих потоков. Природа процесса выявлена лишь недавно<sup>4</sup>.

Среди широко развитых в криолитозоне флювиальных процессов некоторые исследователи выделяют группу подземно-водных процессов, в которую включают карст и суффозию<sup>5</sup>. В пределах криолитозоны механическая суффозия активно проявляется в ряде районов, например, на Ямале. Сведения об этом процессе весьма ограничены<sup>6</sup>. Однако анализ и сравнение этих данных с результатами наших полевых наблюдений позволяют вкратце охарактеризовать данный процесс, рассматривая его как подповерхностную эрозию в слое сезонного оттаивания грунтов.

Суффозия представляет собой процесс линейного проседания поверхности за счет подповерхностного выноса тонкодисперсных частиц грунта фильтрационными и концентрированными потоками воды. Уже из определения следует, что существование термосуффозии в криолитозоне спорно, поскольку мерзлые грунты практически не обладают фильтрационными свойствами. Суффозия проявляется только в пределах сезонноталого слоя; она распространена обычно вдоль бровок берегов морей, озер, рек и на резких перегибах склонов. Она часто развивается по трещинам – криогенным и усыхания. В этом случае процесс, не выраженный морфологически на поверхности, проявляется в виде мелких конусов выноса грунта на склонах или у их подножий. Сущность суффозии заключается в гидродинамическом отрыве и выносе наиболее мелких частиц грунта – это подповерхностное механическое разрезание оттаявшего слоя грунта. Продукты суффозионного выноса при определенных условиях могут быть подвергнуты оловому воздействию.

Оловые процессы в криолитозоне развиты достаточно широко<sup>7</sup>. Они проявляются на оголенных участках грунта в виде двух основных процессов – дефляции и перевевания, которые выражены в виде отрицательных и положительных форм рельефа, представленных преимущественно ложбинами и днообразными скоплениями песков. Дефляция представляет собой процесс отрыва и переноса частиц воздушным потоком. Она активно развита на оголенных берегах морей, озер, рек и на бортах оврагов, реже – по краям крупных криогенных трещин или трещин усыхания. В наибольшей степени дефляции подвержены лессовидные и пылевато-песчаные грунты, в меньшей – грунты суглинистого ряда. Дефляция развита только на иссушенных участках поверхности, где отдельные частицы грунта потеряли структурные связи – гидрогенные, коллоидные, соляные.

Процесс выдувания начинается с того момента, когда турбулентные микровихри у поверхности производят сдвиг отдельной частицы. Потеря устойчивости отдельного зерна в пульсирующем турбулентном потоке воздуха вызывает его перекатывание, подскок – падение (сальтации) и, наконец, отрыв и свободный полет по сложным траекториям. Сложность этих траекторий обусловлена не только сложностью структуры турбулентного воздушного потока, но и деформацией этой структуры наличием самих частиц, как бы малы они ни были.



Термоэрозия

<sup>1</sup> Геокриология СССР. Европейская территория СССР. М.: Недра, 1988. 358 с.; Геокриология СССР. Западная Сибирь. М.: Недра, 1989. 454 с.; Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М.: Недра, 1989. 414 с. и др.

<sup>2</sup> Данько В.К. Закономерности развития термоэрозионных процессов севера Западной Сибири. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1982; Термоэрозия дисперсных пород. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. 193 с.; Яковлев А.В. К вопросу о размываемости мерзлых дисперсных грунтов // Исследования мерзлых толщ и криогенных явлений. Якутск, 1988. С. 131–135.

<sup>3</sup> Познанин В.Л. Природа овражной термоэрозии. Автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. М., 1995. 33 с.

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Румянцев Е.А. Наледный процесс и явление зимней напорной суффозии // Труды Хабаровского ин-та инженеров ж/д транспорта. Вып. 21. 1966; Суходровский В.Л. Указ. соч.

<sup>6</sup> Данилов И.Д. Мерзлотно-суффозионный рельеф и связанные с ним клиновидные деформации // Природные условия Западной Сибири. Вып. 2. М.: МГУ, 1972. С. 147–160; Коржув С.С. Карст // Проблемы экзогенного рельефообразования. Кн. 1. М.: Наука, 1977. 175 с.; Румянцев Е.А. Указ. соч.

<sup>7</sup> Геокриология СССР. Европейская территория СССР...; Геокриология СССР. Западная Сибирь...; Геокриология СССР. Средняя Сибирь... и др.

В таком воздушно-грунтовым потоке почти всегда часть частиц отрывается, а часть – аккумулируется. Поэтому за счет ударов падающих частиц выбивается дополнительное их количество и т. д.

Специфику эоловых процессов в криолитозоне выявить трудно. Однако непосредственные наблюдения автора указывают на то, что активно процесс развивается при испарении льда-цемента на оголенных поверхностях, причем весной в ветровой тени оврагов иссушенный несцементированный слой составляет 2–3 см, а на наветренных бортах – практически отсутствовал, т. е. имело место выдувание частиц грунта. Перевевание частиц также достаточно широко развито в криолитозоне, на что указывают многочисленные массивы незакрепленных дюнообразных скоплений песка, например, в Западной Сибири и Якутии. В целом же оба эоловых процесса имеют единую сущность – ветровое разъедание незакрепленных локальных участков грунта.



*Наледные ландшафты*

Процесс наледообразования широко развит в криолитозоне<sup>1</sup>. Исследованию различных аспектов наледообразования, которое обычно увязывают с поверхностными и подземными водами, посвящено большое число общих и специальных работ<sup>2</sup>. Среди них заметное место занимают исследования по оценке рельефообразующей роли наледей и механизму их воздействия на горные породы, в результате чего формируются специфические наледные ландшафты.

Само наледообразование представляет собой процесс формирования плоского ледяного тела на поверхности горных пород, находящихся при отрицательной температуре. Специальные исследования этого сложного процесса показали, что излияние подземных вод на дневную поверхность сопровождается резкими перепадами температуры, когда на контакте «вода – грунт» возникает явление теплового удара. Это вызывает волну термоупругих колебаний, которая практически мгновенно проникает в самые верхние слои горной породы. При этом происходит чрезвычайно быстрое изменение объемных напряжений как по глубине, так и в плане, в результате чего наблюдается растрескивание и шелушение скальных пород или крупных обломков.

Начальная стадия наледообразования имеет термогидромеханическую природу и проявляется в виде разъедания горных пород изливашейся водой с положительной температурой. Наледообразование эрозионно по сути, хотя последующее нарастание ледяного тела имеет гляциальную природу, а процесс, в целом, принято относить к криогенным процессам.

Одним из типичных криогенных процессов, который широко развит в криолитозоне и проявляется как в горных районах, так и на равнинах Севера, является солифлюкция. Процесс течения грунта на

склонах, казалось бы, трудно или даже невозможно отнести к категории эрозионных процессов. Это относится, прежде всего, к двум основным видам солифлюкции – закрытой (или подповерхностной) и открытой (или поверхностной). Однако последние специальные исследования в области солифлюкции<sup>3</sup> показали, что переход закрытой в открытую солифлюкцию происходит путем возникновения криогенных сплывов, которые иногда называют оползнями скольжения. Криогенные сплывы представляют собой срывы оттаявшего слоя грунта на задернованных склонах самой различной крутизны, морфологии и экспозиции.

Специальные исследования механизма сплывов<sup>4</sup> базируются на предположении о существовании так называемых дефектов прочности грунта – линзочек жидкого грунта близ фронта протаивания сильнольдистого суглинка. Подповерхностное слияние линзочек, размер которых в плане составляет от миллиметров до метров, постепенно приобретает лавинообразный характер, а в силу напорного их состояния поглощение каждой следующей линзы сопровождается все возрастающими скачками гидравлического давления (ударами). Если сила очередного гидравлического удара превысит сумму сил на разрыв и срез дерново-грунтового пласта, то он теряет свою устойчивость и по жидкой суглинистой «смазке» движется вниз по склону.

Срывы обширных пластов дернины и грунта, объем которых иногда составляет десятки тысяч м<sup>3</sup>, устремляясь вниз по склону, прорезают, раздирают и деформируют поверхность, что морфологически проявляется в виде мощных боковых валов выдавливания, смятия и опрокидывания высотой до нескольких метров<sup>5</sup>. Плановая конфигурация сплывов в целом очень напоминает карово-долинные ледники часто с четко выраженными зонами оттока и накопления вещества. Сказанное не оставляет сомнений в том, что сплывы являются эрозионноподобным процессом, а с позиций единства гидрогенного механизма солифлюкции два других ее вида лишь частично эрозионны.

Иные эрозионные эффекты имеют место при разрушении крутых берегов морей, озер и рек за счет опрокидывания и падения крупных блоков талого и (реже) мерзлого грунта. Полевое обследование следов падения грунтовых блоков показало, что они обычно выражены в форме линейных борозд, оконтуренных невысокими

<sup>1</sup> Там же.

<sup>2</sup> Алексеев В.Р. Наледи. Новосибирск: Наука, 1987. 259 с.; Корейша М.М. Наледи в горах Сунтар-Хаята // Материалы гляциологических исследований. Вып. 19. М., 1972. С. 247–250; Соколов Б.Л. Поля характеристик наледей // Материалы гляциологических исследований. Вып. 55. М., 1986. С. 138–147.

<sup>3</sup> Втюрина Е.А., Геворкян С.Г., Познанин В.Л. Сущность криогенных сплывов и количественная оценка критических условий их формирования // Геоэкология. 1999. № 6.

<sup>4</sup> Эрозионные процессы Центрального Ямала / Под ред. А.Ю. Сидорчука и А.В. Баранова. СПб, 1999. 350 с.

<sup>5</sup> Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. Т. II.

валиками дезинтегрированного механическим путем грунта, и внешне выглядят как царапины на крутых и обрывистых берегах. Отсюда следует, что сущность хотя бы части чисто гравитационных процессов заключается в механическом соскабливании горных пород движущимися блоками грунта.

Наиболее широко развитыми в криолитозоне процессами принято считать криогенное растрескивание, термокарст и пучение<sup>1</sup>. Эрозионность этих процессов весьма спорна. Так, криогенное растрескивание<sup>2</sup> нельзя отнести к эрозионным процессам даже в том случае, если представить себе формирование и рост трещин зимой в течение очень короткого промежутка времени по всей площади региона сразу, когда аналитически можно получить подобие эффекта теплового удара со знаком минус.

Термокарст проявляется на поверхности в виде открытых разно-масштабных дефектов, разрастание которых можно рассматривать как разъедание мерзлых толщ<sup>3</sup>. Но его нельзя отнести к эрозионным процессам, даже если историческое развитие процесса представить на площади крупного региона в течение короткого промежутка времени. Пучение также нельзя считать эрозионным, поскольку он имеет криолитогенную сущность<sup>4</sup>. Вместе с тем, нельзя исключить из рассмотрения некоторые специфические эффекты, которые возникают иногда при развитии процесса. Так, рост бугров пучения часто сопровождается растрескиванием апикальной части бугров или даже их взрывами с напорным излиянием на поверхность воды, эродирующей при своем движении канал стока.

Таким образом, рассмотренный комплекс основных рельефообразующих процессов в криолитозоне, имеющих различный генезис, механизмы и особенности пространственно-временного развития, характеризуется наличием общего свойства – эрозионности. Она проявляется в ряду: полное отсутствие, элементарные псевдоэрозионные эффекты, эрозионноподобные и чисто эрозионные процессы, имеющие термогидромеханическую природу. Выделенный ряд по сути представляет 4 группы процессов. В первую (не эрозионную) входят следующие процессы: криогенное растрескивание, термокарст, пучение; во вторую (псевдоэрозионную) – лавиноподобные явления, обрушения грунта; в третью (эрозионно-подобную) – нивация, наледы, солифлюкция; в четвертую (эрозионную) – термоабразия, термоэрозия суффозия, дефляция и перевевание.

Нетрудно видеть, что свойство эрозионности в той или иной мере характерно для 75% процессов, что указывает однозначно на ключевое значение эрозии и аналогичных эффектов в развитии криолитозоны. Вместе с тем, полученный ряд процессов требует определенной корректировки процессов внутри групп по степени их эрозионности. Тогда с помощью системного анализа станет возможным создание общей классификации рельефообразующих процессов криолитозоны как конечной цели любой систематики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.Р. Наледи. Новосибирск: Наука, 1987. 259 с.  
Alekseev V.R. (1987). Naledi. Nauka. Novosibirsk. 259 p.
2. Арэ Ф.Э. Термоабразия морских берегов. М.: Наука, 1979. 159 с.  
Are F.E. (1979). Termoabraziya morskikh beregov. Nauka. Moskva. 159 p.
3. Боч С.Г. Снежники и снежная эрозия в северных частях Урала // Известия Всесоюзного географического общества. Вып. 2. 1946. С. 48–56.  
Boch S.G. (1946). Snezhniki i snezhnaya eroziya v severnykh chastyakh Urala. Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva. Vyp. 2. Pp. 48–56.
4. Воскресенский К.С. Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России. Автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. М., 1999. 32 с.  
Voskresenskii K.S. (1999). Sovremennye rel'efoobrazuyushchie protsessy na ravninakh Severa Rossii. Avtoref. diss. ... dokt. geogr. nauk. Moskva. 32 p.
5. Втюрина Е.А., Геворкян С.Г., Познанин В.Л. Сущность криогенных сплывов и количественная оценка критических условий их формирования // Геоэкология. 1999. № 6.  
Vtyurina E.A., Gevorkyan S.G., Poznanin V.L. (1999). Sushchnost' kriogennykh splyvov i kolichestvennaya otsenka kriticheskikh uslovii ikh formirovaniya. Geoekologiya. N 6.
6. Выркин В.Б. Об интенсивности физического выветривания горных пород вблизи снежников и наледей // Молодая наука БАМУ. Иркутск, 1977.  
Vyrkin V.B. (1977). Ob intensivnosti fizicheskogo vyvetrivaniya gornyykh porod vblizi snezhnikov i naledei. Molodaya nauka BAMU. Irkutsk.
7. Геокриология СССР. Европейская территория СССР. М.: Недра, 1988. 358 с.  
Geokriologiya SSSR. Evropeiskaya territoriya SSSR. Nedra. Moskva, 1988. 358 p.
8. Геокриология СССР. Западная Сибирь. М.: Недра, 1989. 454 с.  
Geokriologiya SSSR. Zapadnaya Sibir'. Nedra. Moskva, 1989. 454 p.

<sup>1</sup> Геокриология СССР. Европейская территория СССР...; Геокриология СССР. Западная Сибирь...; Геокриология СССР. Средняя Сибирь... и др.

<sup>2</sup> Геокриология СССР. Европейская территория СССР...; Геокриология СССР. Западная Сибирь...; Гречищев С.Е., Чистотинов Л.В., Шур Ю.Л. Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз. М.: Недра, 1980. 383 с. и др.

<sup>3</sup> Геокриология СССР. Европейская территория СССР...; Геокриология СССР. Западная Сибирь...; Романовский Н.Н. К теории термокарста // Вестник МГУ. Сер. геологич. 1977. № 1, С. 65–71. и др.

<sup>4</sup> Геокриология СССР. Европейская территория СССР...; Геокриология СССР. Западная Сибирь...; Гречищев С.Е., Чистотинов Л.В., Шур Ю.Л. Указ. соч.



Термокарстовые озера в тундре Ямала

9. Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М.: Недра, 1989. 414 с.  
Geokriologiya SSSR. Srednyaya Sibir'. Nedra. Moskva, 1989. 414 p.
10. Гоголев Е.С. Прогноз предельного развития береговой зоны водохранилищ в районах распространения сильнольдистых грунтов // Инженерное мерзлотоведение в гидротехнике: Материалы конференции и сообщения по гидротехнике. Л., 1989. С. 187–190.  
Gogolev E.S. (1989). Prognoz predel'nogo razvitiya beregovoi zony vodokhranilishch v raionakh rasprostraneniya sil'no'ldistykh gruntov. Inzhenernoe merzlotovedenie v gidrotekhnike: Materialy konferentsii i soveshchaniya po gidrotekhnike. Leningrad. Pp. 187–190.
11. Гречищев С.Е., Чистотинов Л.В., Шур Ю.Л. Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз. М.: Недра, 1980. 383 с.  
Grechishchev S.E., Chistotinov L.V., Shur Yu.L. (1980). Kriogennyye fiziko-geologicheskie protsessy i ikh prognoz. Nedra. Moskva. 383 p.
12. Данилов И.Д. Мерзлотно-суффозионный рельеф и связанные с ним клиновидные деформации // Природные условия Западной Сибири. Вып. 2. М.: МГУ, 1972. С. 147–160.  
Danilov I.D. (1972). Merzlotno-suffozionnyi rel'ef i svyazannyye s nim klinovidnye deformatsii. Prirodnye usloviya Zapadnoi Sibiri. Vyp. 2. Moskovskii gosudarstvennyi universitet. Moskva. Pp. 147–160.
13. Данько В.К. Закономерности развития термоэрозийных процессов севера Западной Сибири. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1982.  
Dan'ko V.K. (1982). Zakonomernosti razvitiya termoerozionnykh protsessov severa Zapadnoi Sibiri. Avtoref. diss. ... kand. geol.-min. nauk. Moskva.
14. Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. Т. II. Геокриологические условия освоения Бованенковского месторождения / В.В.Баулин, В.И.Аксенов, Г.И.Дубиков и др. Тюмень: Ин-т проблем освоения Севера СО РАН, 1996. 240 с.  
Inzhenerno-geologicheskii monitoring promyslov Yamala. T. II. Geokriologicheskie usloviya osvoeniya Bovanenkovskogo mestorozhdeniya. V.V.Baulin, V.I.Aksenov, G.I.Dubikov i dr. In-t problem osvoeniya Severa Sibirskogo Otdeleniya RAN. Tyumen'. 1996. 240 s.
15. Корейша М.М. Наледи в горах Сунтар-Хаята // Материалы гляциологических исследований. Вып. 19. М., 1972. С. 247–250.  
Koreisha M.M. (1972). Naledi v gorakh Suntar-Khayata. Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy. Vyp. 19. Moskva. Pp. 247–250.
16. Корейша М.М. Оледенение Верхоянско-Колымской области. М.: 1991. 143 с.  
Koreisha M.M. (1991). Oledeniye Verkhoyansko-Kolymskoi oblasti. Moskva. 143 p.
17. Коржуев С.С. Карст // Проблемы экзогенного рельефообразования. Кн. I, М.: Наука, 1977. 175 с.  
Korzhuiev S.S. (1977). Karst. Problemy ekzogenogo rel'efoobrazovaniya. Kn. I. Nauka. Moskva. 175 p.
18. Любимов Б.П. О механизме нивальных процессов // Подземный лед. Вып. 3, 1967.  
Lyubimov B.P. (1967). O mekhanizme nival'nykh protsessov. Podzemnyi led. Vyp. 3.
19. Перов В.Ф. Снежники, ледники и мерзлотный рельеф Хибинских гор. М.: Наука, 1968. 120 с.  
Perov V.F. (1968). Snezhniki, ledniki i merzlotnyi rel'ef Khibinskikh gor. Nauka. Moskva. 120 p.
20. Познанин В.Л. Природа овражной термоэрозии. Автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. М., 1995. 33 с.  
Poznanin V.L. (1995). Priroda ovrazhnoi termoerozii. Avtoref. diss. ... dokt. geogr. nauk. Moskva. 33 p.
21. Романовский Н.Н. К теории термокарста // Вестник МГУ. Сер. геологич. 1977. № 1. С. 65–71.  
Romanovskii N.N. (1977). K teorii termokarsta. Vestnik MGU. Ser. geologicheskaya. N 1. Pp. 65–71.
22. Румянцев Е.А. Наледный процесс и явление зимней напорной суффозии // Труды Хабаровского ин-та инженеров ж/д транспорта. Вып. 21. 1966.  
Rumyantsev E.A. (1966). Nalednyi protsess i yavlenie zimnei napornoj suffozii. Trudy Khabarovskogo instituta inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta. Vyp. 21.
23. Соколов Б.Л. Поля характеристик наледей // Мат-лы гляциологич. исследований. Вып. 55. М.: 1986. С. 138–147.  
Sokolov B.L. (1986). Poly kharakteristik naledei. Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy. Vyp. 55. Moskva. Pp. 138–147.
24. Суходровский В.Л. Мигрирующие термокарстовые озера Витимского плоскогорья // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1960. № 6. С. 79–85.  
Sukhodrovskii V.L. (1960). Migriruyushchie termokarstovyye ozera Vitimskogo ploskogor'ya. Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Ser. geogr. N 6. Pp. 79–85.
25. Суходровский В.Л. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. М.: Наука, 1979. 280 с.  
Sukhodrovskii V.L. (1979). Ekzogennoe rel'efoobrazovanie v kriolitozone. Nauka. Moskva. 280 s.
26. Термоэрозия дисперсных пород. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. 193 с.  
Termoeroziya dispersnykh porod. Izd-vo Moskovskogo universiteta. Moskva. 1982. 193 p.
27. Швецов П.Ф., Корейша М.М. Об экзогенном процессе, называемом нивацией // Геоморфология. 1981. № 4. С. 24–31.  
Shvetsov P.F., Koreisha M.M. (1981). Ob ekzogenom protsesse, nazyvaemom nivatsiei. Geomorfologiya. N 4. Pp. 24–31.
28. Эрозионные процессы Центрального Ямала / Под ред. А.Ю. Сидорчука и А.В. Баранова. СПб, 1999. 350 с.  
Erozionnyye protsessy Tsentral'nogo Yamala. Pod red. A.Yu. Sidorchuka i A.V. Baranova. Sankt-Peteburg, 1999. 350 p.
29. Яковлев А.В. К вопросу о размываемости мерзлых дисперсных грунтов // Исследования мерзлых толщ и криогенных явлений. Якутск, 1988. С. 131–135.  
Yakovlev A.V. (1988). K voprosu o razmyvaemosti merzlykh dispersnykh gruntov. Issledovaniya merzlykh tolshch i kriogennykh yavleniy. Yakutsk. Pp. 131–135.