

УДК 551.4:551.343(571.51/.52+571.6)

**ТЕРМОКАРСТ КАК ФАКТОР РАЗРУШЕНИЯ И СОЗИДАНИЯ В РАЗВИТИИ ГЕОСИСТЕМ ЮГА СРЕДНЕЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА****Скрыльник Г.П.***Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: skrylnik@tig.dvo.ru*

Предмет исследований – термокарст как процесс неравномерного проседания почвогрунтов в результате вытаивания подземных льдов, свидетельствующий об его актуальности при хозяйственном освоении территории. Тема – причины его возникновения: глобальные факторы (общее потепление климата); континентальные (усиление континентальности, летней); региональные (изменения теплового режима грунта естественными процессами – эрозией, пожарами и т.д.) и локальные (естественные – морозобойное расстрескивание деятельных поверхностей, точечное обводнение и заболачивание; антропогенные – вырубка леса, распашка, пожары; техногенные – строительство гражданских и промышленных объектов). Цель – рассмотреть различное проявление термокарста и его специфику в различных пространственно-временных обстановках: северных территорий российского и американского секторов Арктики (в обзорном плане) и направленно выделяемых (в подробном формате) юга Средней Сибири и Дальнего Востока. В этом проявляется его новизна. Используемые методы – сравнительно-географический, геофизический, информационный и т.д. Результаты (большой частью по авторским материалам) – в соответствии с зональными особенностями мерзлотно-природной обстановки регионов находится и морфогенетический эффект термокарста. Так, в пределах таежного юга Средней Сибири он увеличивается по региону с юго-запада на северо-восток, по направлению общего увеличения площадей вечной мерзлоты. Термокарстовые формы (округлые западины, озерные ванны; формы проседания; и другие) здесь встречаются относительно редко, но равномерно на всех геоморфологических уровнях. Термокарстовые озера (в том числе и «блуждающие») на Чукотке встречаются часто, но приурочены главным образом к долинам рек. Наиболее широко они распространены лишь в пределах Анадырской низменности и на побережье залива Креста. Термокарстовые явления (округлые западины, котловины и озерные ванны, коленчато-полигональные формы) экстремального проявления здесь достигают только в редкие аномально теплые и дождливые годы. Термокарст в Прихотье и Приморье проявляется в виде различных немногочисленных просадок и характеризуется увеличивающимся сокращением.

**Ключевые слова:** термокарст, разрушение, формирование, просадки, Сибирь, Чукотка, Приморье**THERMOKARST AS THE FACTOR OF DESTRUCTION AND CREATION IN DEVELOPMENT OF GEOSYSTEMS OF THE SOUTH OF MIDDLE SIBERIA AND THE FAR EAST****Skrylnik G.P.***Pacific Geographical Institute of FEB of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: skrylnik@tigdvo.ru*

The subject of researches is thermokarst as the process of non-uniform subsidence of soils-grounds resulting from melting of underground ices, testifying to its urgency, when economic development of the territory occurs. A theme is the reasons of its occurrence: global factors (general warming of climate); continental factors (strengthening of continental features, the summer ones); regional factors (changes of a thermal regime of ground by natural processes – erosion, fires and others.) and the local factors (natural – frost cracks of active surfaces, dot flooding and bogging; the anthropogenic factors – deforestation, cultivation, fires; the technogenic factors- construction of civil and industrial objects). The purpose is to consider various manifestations of thermokarst and its specificity under various spatial-temporal conditions: the northern territories of the Russian and American sectors of Arctic regions (in the survey plan) and allocated territories (in a detailed format) of the south of Middle Siberia and the Far East. It is its very novelty. The used methods – are comparative-geographical, geophysical, information and others. The results (mostly by author's materials) – a morphogenetic effect of thermokarst matches the zone features of frost-natural conditions of the regions. So, within the taiga south of Middle Siberia it increases in the region from the southwest to the northeast, in the direction of the general increase in the areas of permafrost. Thermokarstic forms (round pedings, lake baths; forms of subsidence; and others) are encountered there rather seldom, but in regular intervals at all geomorphologic levels. Thermokarstic lakes (including «wandering») are often encountered in Chukotka, but are mainly confined to the river valleys. They are wide spread only within the Anadyrskaya lowland and on the coast of the Crest Gulf. The thermokarstic phenomena (round pedings, depressions, lake baths, and forms) reach extreme manifestation there only in the rare abnormal warm and rainy years. Thermokarst manifests itself in Priokhotie and Primorie in the form of various not numerous settings and are characterized by an increasing reduction.

**Keywords:** thermokarst, destruction, a formation, subsidence, Siberia, Chukotka, Primorskii Krai

Термин «термокарст» введён в обращение в 1932 г. М.М. Ермолаевым, проводившим исследование на Большом Ляховском острове.

Термокарст – криогенный физико-механический (термический) процесс, представляющий «неравномерное проседание почв и подстилающих горных пород» [1, с. 1525],

связанный (по исследованиям С.П. Качурина в 1961 г.) с вытаиванием подземных льдов самого различного генезиса (инъекционных, полигонально-жильных, льдов грунтовых наледей и других) и образованием над возникающими пустотами провальных и просадочных форм.



Рис. 1. Термокарстовый провал – кратер Батагайка (Республика Саха; около 100 м в глубину и один километр в длину, по краям оползни; образовался после сведения леса в 1960-х гг., приведшего к наводнению; увеличивается каждый день, из-за таяния вечной мерзлоты) [6]

Термокарстовому воздействию подвержены низменные пространства российского сектора Арктики (Север Европейской России, Западная Сибирь, Восточная Сибирь, Центральная Якутия, Дальний Восток – [2–4]); американского (Аляска) и канадского Севера [5].

Несмотря на то, что термокарсты – «это красивые узоры на поверхности Земли» (рис. 1, 2) [6]), они оказывают отрицательное влияние на окружающую среду (оттаивание приводит к частым оползням и выбросу в атмосферу парниковых газов, таких как метан и диоксид углерода, что является неблагоприятным для окружающей среды).



Рис. 2. Термокарстовые ландшафты Аляски [6]

Цели и задачи: рассмотреть различное проявление термокарста и его специфику в различных пространственно-временных обстановках: северных территорий российского и американского секторов Арктики

(в обзорном плане) и направленно выделяемых (в подробном формате) юга Средней Сибири и Дальнего Востока. В этом проявляется и его региональная новизна.

Методы исследования: сравнительно-географический, геофизический, информационный. Эти использованные нами методы находятся в ряде сквозных направлений (методов) изучения комплексной физико-географической оболочки (КФГО), разработанных еще в 1973 г. академиком К.К. Марковым с соавторами.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Использованы фондовые (без указания источников) и опубликованные материалы, а также сведения натуральных исследований автора в различных районах Севера России и американцев на Аляске. Кроме того, особенно предметно-тематические материалы наблюдений автора в Сибири и Дальнем Востоке (на Средне-Сибирском плоскогорье – в бассейнах рек Иркут, Чадобца, Подкаменной Тунгуски; в верховьях р. Лены; на Чукотке – в бассейнах рек Канчалан, Тяно-рер, Белой, Амгуэмы и пространствах Анадырской низменности; в Приохотье – в прибрежных районах Удской и Пенжинской губы и г. Охотска; в Приамурье – в районах хр. Ям-Алинь, хр. Джугджур, низовой р. Амур и зал. Николаева; в Приморье – в районах хр. Сихотэ-Алинь и севера Приханкайской низменности).

Термокарст по своей ландшафтопреобразующей специфике, как явление и про-

цесс деградации геосистем, отличается постоянной региональной актуальностью (из-за негативного воздействия на хозяйственные объекты) и неповторимостью локальной новизны.

История развития термокарста всегда рассматривается в связи с историей развития вечномёрзлых горных пород, от которых этот процесс неотделим. В частности, территориальное проявление термокарста на местности наиболее полно увязывается с распространением вечной мерзлоты, иллюстрируемым схематической картой (рис. 3).

Современная криолитозона (по материалам И.П. Герасимова и К.К. Маркова, И.Я. Баранова и А.И. Попова, А.А. Величко и Н.Н. Романовского и др.) сформировалась в кайнозойскую ледниковую эру, когда во второй половине третичного периода началось глобальное похолодание климата.

Динамика термокарста в пространственно-временном плане испытывала и испытывает в Арктике существенные колебания: в 1970–1980 гг. его интенсивность в соответствии с глобальным потеплением достигла пика, а в последующие годы (по исследованиям Н.В. Ловелиуса и А.Ю. Ретеюма) начала снижаться одновременно с замедлением и снижением потепления [7]. Так, «по аналогии с событиями двух закончившихся циклов солнечной активности можно заключить, что сохранение высоких темпов потепления Арктики в обозри-

мой перспективе маловероятно» [7, с. 129]. С этим совпадают и выводы международных экспертов [8].

Всесторонний учет системообразующих свойств термокарста является весьма актуальным при освоении территории (особенно в районах разработки нефтегазовых месторождений и строительства нефтегазопроводов, сопровождающихся искусственным изменением гидрологической сети и непосредственным тепловым воздействием технических сооружений). Развитие термокарста хорошо иллюстрируется распространением и динамикой термокарстовых озёр.

Причинами возникновения термокарста могут быть: глобальные факторы (общее потепление климата); континентальные (усиление континентальности, летней); региональные (изменения теплового режима грунта естественными процессами – эрозией, пожарами и т.д.) и локальные (естественные – морозобойное растрескивание деятельных поверхностей, точечное обводнение и заболачивание; антропогенные – вырубка леса, вспашка, пожары; техногенные – строительство гражданских и промышленных объектов). При этом велика роль тектонических процессов в развитии термокарста: а) опускания могут вызвать его активизацию из-за обводнения поверхности; б) они могут быть причиной его затухания из-за дренажа территории.



Рис. 3. Схематическая карта распространения вечной мерзлоты (по И.Я. Баранову, с дополнениями автора)

Во всех этих случаях вытаивание льдов и оттаивание вечно- и сезонномерзлого грунта связано с наступающим повышением среднегодовых температур в подошве слоя годовых колебаний (до 0 °С). Типичные формы термокарста – поверхностные оседания (западины, блюдца, многоугольные сети ложбин по морозобойным трещинам, аласы, байджежахы, озерные котловины); подповерхностные провалы. Развитие термокарста, как правило, сочетается (в комплексе или по отдельности – с плоскостным и подпочвенным смывом, солифлюкцией, эрозией, абразией). Нарушения динамического равновесия в водном и тепловом режиме деятельной поверхности могут вызвать термокарстовые явления и на территории стабильной и аградирующей вечной мерзлоты. Причиной этого, прежде всего, может явиться антропогенная деятельность, при которой минимизация негативных эффектов обеспечивается направленным сохранением вечномерзлых пород (их затенением, перекрытием торфяным горизонтом, применением активного дренажа).

Хотя термокарст относительно хорошо изучен, в его механизме и региональных чертах проявления имеются многие еще невыясненные детали и разночтения

Выявлены существенные и разнонаправленные изменения термокарстовых озер с 1950–1970-х гг., что связывается с активизацией термокарстовых процессов, якобы из-за потепления климата: сокращение количества и площади озер на Аляске до 50% – в зоне прерывистой вечной мерзлоты (по данным американских авторов – Fitzgerald, Riordan в 2003 г.; Riordan et al. в 2006 г.); в Западной Сибири в зоне сплошной вечной мерзлоты – увеличение отмеченных показателей до 12% [9]; двукратное увеличение площади озер в Центральной Якутии [10]. Отметим, что по одним и тем же районам (в частности, по Западной Сибири) результаты существенно разнятся [11, 12]), что очевидно объясняется различными методическими подходами. Для «снятия» этих разночтений была разработана специальная методика, для чего были использованы космические снимки со спутника Landsat [2, 13, 14].

Выбор эталонного района исследований был определен по характеру распространения термокарстовых озер на территории России (рис. 4, [2]) и уточнен по отличающимся данным (рис. 5) [10]. Заметим, что вопрос о вероятном влиянии современного потепления климата, несмотря на ряд ут-

верждающих исследований [9] на активизацию термокарста, до конца не выяснен. Поэтому при выборе района исследований В.И. Кравцова и Т.В. Родионова [2, 15] использовали карты метеогеокриологического риска криолитозоны России [16].

В области «высокого метеогеокриологического риска попадают север Западной Сибири, Север европейской части России и Чукотка, а в области слабого метеогеокриологического риска – дельта р. Лены, Северная Якутия...» [16, с. 83]. Кроме этого, были учтены результаты ранних исследований, показавших неодинаковое протекание термокарста в разных регионах, а в других – неодинаковые результаты для одного и того же района. Так, в частности, в Западной Сибири происходило увеличение площади озер в зоне сплошного развития вечной мерзлоты [9], а в других районах этого же региона – их уменьшение. При этом, изменяющиеся обстановки в Западной Сибири не связаны с современным потеплением климата [9].

Таким образом, глубинное проявление механизмов термокарста находится, вероятно, в соответствии с меняющимися величинами метеогеокриологического риска.

Выполнены многочисленные исследования динамики термокарстовых озер, охватывающие области как сплошного, так и прерывистого распространения многолетнемерзлых пород в пределах Аляски [5] и криолитозоны Евразии – Севера Европейской части России [17], Западной Сибири [11], Восточной Сибири [18], Центральной и Северной Якутии [19, 20] и России в целом [10].

Исследования в разных частях криолитозоны показывают, что в зоне сплошного распространения мерзлоты отмечается относительная стабильность термокарстовых озер. Однако в отдельных районах отмечается увеличение площади озер (на территории Западной Сибири [9] и Центральной Якутии [10]), которое авторы связывают с активизацией термокарстового процесса под влиянием потепления климата из-за увеличения выбросов углекислого газа, содержащегося в вечной мерзлоте, на 125–190% – по сравнению с теми количествами диоксида углерода, что высвобождаются при постепенном таянии [21]. В зоне прерывистого распространения мерзлоты большинство исследователей отмечают сокращение площади озер, что связывается с просачиванием воды в оттаявший грунт и с испарением воды из озер.

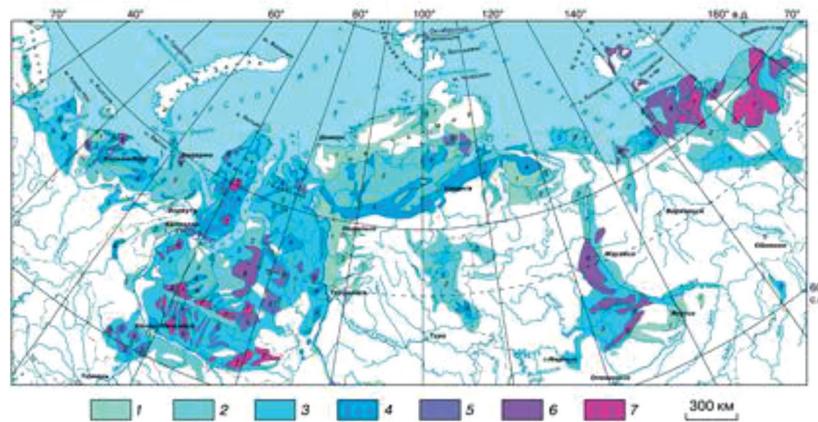


Рис. 4. Распространение термокарстовых озер на территории России [6]. Условные обозначения – Преобладающие размеры озер: 1 – малые; 2 – средние. Сочетания озер разных размеров: 3 – малые и средние; 4 – малые и большие; 5 – малые и крупные; 6 – средние и большие; 7 – средние и крупные. Диаметр озер (км): малых – 0,1–0,5, средних – 0,5–1,5, больших – 1,5–3,0, крупных – 3–6

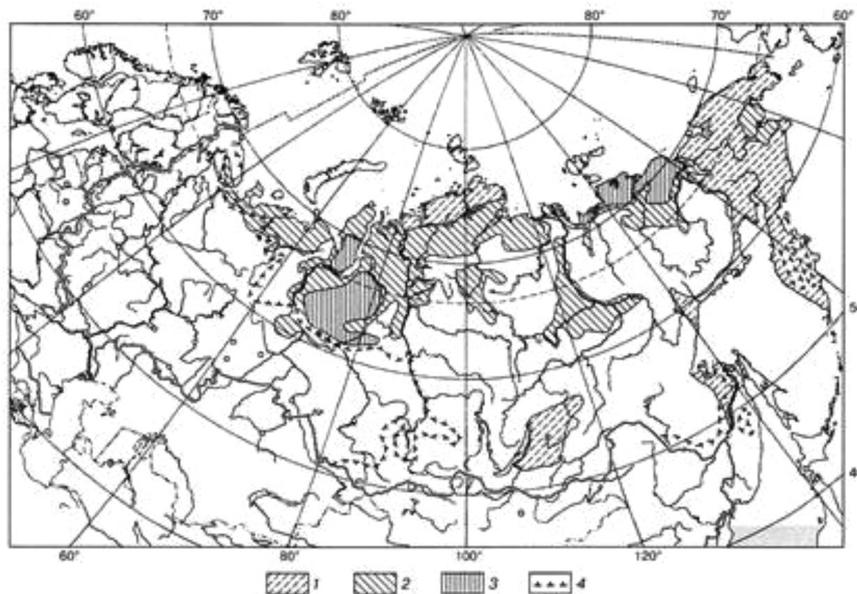


Рис. 5. Схема районов распространения термокарстовых озер на территории России [10]: 1 – малых озер; 2 – малых и средних озер; 3 – средних и крупных озер. Границы: 4 – южная граница криолитозоны [10]

Отмеченная картина в снижении количества термокарстовых озер хорошо согласуется с наблюдаемой ситуацией начавшегося общего глобального похолодания климата, фиксируемого международными экспертами и подтверждаемой материалами региональных исследований автора [8, 22].

В итоге динамические характеристики озер не являются индикатором влияния потепления климата на криолитозону, так как его влияние однозначно не выделяется.

Ниже, на основе авторских тематических материалов, подробно рассматриваются особенности термокарстового фона (в статике и динамике) основных заявленных регионов (Средней Сибири, Чукотки и Приморья) в естественных и антропогенных обстановках.

#### Средняя Сибирь

В пределах таежного юга Средней и Восточной Сибири формы рельефа, обязанные

своим происхождением термокарсту, встречаются относительно редко, но равномерно на всех геоморфологических уровнях и при общем знакомстве с территорией создают ложное впечатление о ведущей роли термокарста среди мерзлотных факторов рельефообразования. Так, на основании исследований Ф.Н. Лещикова, Н.Е. Зарубина и Н.Н. Романовского еще недавно делались далеко идущие выводы о продолжающейся здесь деградации вечной мерзлоты. В действительности, как показывают наши исследования, на рассматриваемой территории преимущественно островного развития вечной мерзлоты (рис. 1) ее направленного сокращения в настоящее время не происходит [23].

Термокарст, по данным А.И. Попова, представляет лишь часть очень сложного природного процесса, связанного с увеличением мощности деятельного слоя и включением в него сильно льдистых грунтов или ископаемого льда.

Для юга Средней и Восточной Сибири в современный период нехарактерно направленные изменение климата ни в сторону потепления, ни в сторону похолодания. Следовательно, современное активное протекание термокарста на отдельных участках следует связывать с местными изменениями физико-географических условий, т.е. с частными, а не с общими причинами. К ним можно отнести: а) существенное нарушение или полное уничтожение растительного покрова, в общегодовом выводе оказывающего охлаждающее влияние на грунты; б) следующее за этим возникновение различного рода трещин (морозобойных, динамических и др.), приводящих к площадному или локальному увеличению зоны активного теплообмена между земной поверхностью и атмосферой; в) хозяйственное освоение территории, связанное с ее распашкой, проведением дорог и т.д. При этом наибольшее значение имеют охватывающие большие площади лесные пожары – не столько из-за непосредственного теплового воздействия, как указывал еще в 1939 г. В.Ф. Тумель, сколько из-за возникновения новых деятельных поверхностей с другим теплообменом. На горячих, по наблюдениям автора, геотермический уровень теплообмена повышается, что находит свое выражение в увеличении среднегодовых температур грунтов и увеличении мощности деятельного слоя. Следовательно, происходит антропогенная активизация термокарста.

Рост термокарстовых просадок всегда сопровождается изменением внешних местных физико-географических условий (повышенным накоплением снега, дополнительным увлажнением грунтов в пределах просадок, а часто и возникновением в них озер и т.д.).

На юге Средней Сибири среди «островных» высокотемпературных (около  $0^{\circ}\text{C}$ ) вечномерзлых пород максимальной льдистостью характеризуются четвертичные отложения, преимущественно на низких уровнях в речных долинах. В пределах южной тайги – это поймы, I и II надпойменные террасы рек, верховья долин, нижние части склонов (на юге – северной экспозиции, а на севере – южной); в пределах средней тайги – заторфованные и заболоченные выровненные водораздельные пространства. Наибольшая выраженность термокарстовых просадок в последнем случае чаще и отмечается.

В современный период термокарст на юге Средней Сибири связан как с вытаиванием льда в деятельном слое и формированием мелких форм, так и с процессами в вечномерзлых толщах, когда возникают просадки значительных размеров и различных очертаний в плане. Так, в первом случае – на месте сезонных бугров пучения возникают блюдцеобразные понижения и реже кратеровидные воронки (размеры не превышают 1–2 м); во втором – в пределах речных террас часто формируются отдельные термокарстовые озера, поперечные размеры которых достигают 30–50 м, а глубины до 1,5 м. При этом если вытаивание миграционных и сегрегационных льдов приводит к появлению отдельных неправильных очертаний просадок, то разрушение сетки полигонально-жильных льдов обуславливает возникновение закономерно построенных, полигональных в плане, образований. Заметим, что на морфологию термокарста существенный отпечаток накладывает также эрозия, карст и т.д. Так, сочетание термокарстовых и карстовых процессов, что наиболее часто в нашем регионе отмечается в условиях Верхоленья, обуславливает формирование просадочных форм рельефа сложного генезиса. Здесь, по наблюдениям автора, поверхностные термокарстовые формы переходят в глубинные карстовые.

Специфическое проявление термокарста на юге Средней Сибири представлено озерно-термокарстовыми процессами. Последние отмечаются в пределах древних озерных котловин (верховья рек Чулы

и Ханды) и на низких террасовых уровнях в верховьях рек Непы, Нижней Тунгуски и Катанги. Эти местности сложены мерзлыми озерно-аллювиальными илами, тяжелыми суглинками и глинами, перекрытыми с поверхности 1,5–7-метровым слоем торфа различной степени разложения и минерализации. Внешне они представляют собой плоско- или выпукло-бугристые торфяники: от речных русел отделены береговыми валами; характеризуются незначительной мощностью деятельного слоя (0,3–0,8 м); имеют типичный лесотундровый облик с разреженной и угнетенной растительностью. Талые и дождевые воды, из-за плохих условий стока в соседние реки, задерживаются здесь на длительное время и образуют в понижениях мелкие озера. Значительный приток солнечного тепла в весенне-летнее время аккумулируется водными массами и служит главной причиной начала термокарста.

Развитие термокарста здесь протекает не только в глубину, но и активно распространяется в стороны. Постепенно отдельные округлые воронки проседания, возникшие в процессе протаивания выпуклобугристых торфяников, соединяются между собой или с межбугровыми впадинами, а в пределах плоскобугристых торфяников – объединяются с просадками вдоль былых ледяных жил. В результате формируются обширные термокарстовые озера (до 150–200 м в поперечнике; слой воды до 3,5 м; над ними превышения торфяников до 1,5 м).

Особо следует отметить, что с продвижением от русел рек в сторону коренных склонов глубины таких «блуждающих» озер увеличиваются, постепенно исчезают необводненные котловины, а признаки «блуждания» озер становятся более явственными. В результате поверхность торфяников приобретает уклон в сторону коренного склона речной долины, что благоприятствует застаиванию талых и дождевых вод, вызывающих дальнейшую интенсификацию термокарста. Из-за соединения многочисленных термокарстовых озер под коренным склоном долин (например, в районе зимовья Мироновского, между устьями рек Хаил и Кумакагна) формируются широкие (20–60 м) и длинные (до 400–500 м) ложбины, обычно заполненные водой и характеризующиеся в плане самыми прихотливыми очертаниями. В отдельных случаях эти ложбины по своей конфигурации напоминают старицы, что необходимо учитывать при камеральном дешифрировании аэрофотоснимков.

Морфогенетический эффект термокарста на юге Средней Сибири не ограничивается формированием только отдельных микроформ рельефа или площадей проседания. Возникновение последних в днищах речных долин, что обычно происходит после лесных пожаров или объемных рубок леса, а в особых условиях является результатом озерно-термокарстового процесса, приводит к локальному снижению базиса денудации конкретных склонов. Такие геосистемные нарушения вызывают активизацию склоновых процессов и, следовательно, приводят к интенсивной переработке склоновых поверхностей.

В соответствии с зональными особенностями мерзлотно-природной обстановки таежного юга Средней и Восточной Сибири находится и морфогенетический эффект термокарста: он увеличивается по региону с юго-запада на северо-восток, по направлению общего увеличения площадей вечной мерзлоты. Именно в этом направлении увеличиваются общее количество и размеры отдельных просадок, чаще отмечаются площади проседания и повышается роль озерно-термокарстового процесса в преобразовании общего рельефа.

В целом для всего региона рельефообразующая роль термокарста, по сравнению с морозобойным трещинообразованием и мерзлотным крипом, в естественных условиях все же невелика. В ходе интенсивного хозяйственного освоения территории термокарстовые явления становятся здесь все более и более характерными. Следовательно, удельный вес термокарста в общем преобразовании поверхности осваиваемых районов с редкоостровной вечной мерзлотой все время антропогенно направленно возрастает.

#### *Чукотка*

Чукотка – особый край вечной мерзлоты (подземного оледенения), выделяющийся среди других северных территорий ярким своеобразием и неповторимостью полярных ландшафтов. К этим отличительным особенностям относятся:

а) противоречивое соседство и контрастное чередование талых и мерзлых пород (рис. 3; [24]);

б) широчайший спектр мощностей (от 0 до 700 и более метров) и среднегодовых температур (от 0 °С до минус 11 °С и ниже) вечномерзлых грунтов [25];

в) высокие тренды увеличения температуры воздуха, из-за чего район Чукотки по-

падает в область высокого метеогеокриологического риска [14];

г) полный набор криогенных процессов и явлений в организации восходящего и нисходящего развития вечной мерзлоты [24, 25].

*Термокарстовые явления* (округлые западины, котловины и озерные ванны; линейные, линейно-коленчатые и полигональные формы проседания; и другие), являясь типичными для территории Чукотки, экстремального проявления достигают только в редкие anomalно теплые и дождливые годы (рис. 6 и 7). В эти периоды на участках близкого залегания к дневной поверхности залежей подземных льдов активизируются площадные просадки, а на склонах – процессы оврагообразования [24].

Во многих местах, по исследованиям в 1970 г. С.В. Томирдиаро, зафиксированы следы передвижения озер, оставляющие за собой ровные открытые площадки, сложенные с поверхности илистыми отложениями (5–15 см), а глубже – горизонтами уплотненного заиленного торфяника (с глубины 0,6–1,0 м в мерзлом состоянии). Вслед за «уходом» термокарстового озера в сторону или его обмелением и дальнейшим высыханием здесь на открытых участках опять формируется вечная мерзлота.

Термокарстовые озера (в том числе и «блуждающие») встречаются локально и приурочены главным образом к долинам рек. Наиболее широко они распространены лишь в пределах Анадырской низменности и на побережье залива Креста. На остальных береговых участках морей термокарстовые озера сосредоточены на узких полосах прибрежных равнин и в устьевых расширениях речных долин, где обычно развивается достаточно густая сеть очень небольших (0,1–0,3 км) озер. Количество и размеры термокарстовых озер от года испытывают разнонаправленные колебания. Последние прослежены на эталонных участках – 1) на северном побережье Пенжинской губы и на побережье Удской губы Охотского моря (снимки 1973 и 2001 гг.); 2) Яно-Индибирской низменности вдоль южного побережья моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря (снимки 1972 и 2000 гг.). При сравнении разновременных снимков первого участка изменений в характеристиках озер не обнаружено, а для второго – обнаружено увеличение площади многих из существовавших озер и массовое появление новых малых (0,1–0,2 км) озер [10].



*Рис. 6. Термокарстовые деформации нижней части склона в окрестностях п. Лаврентия. Фото А.А. Галанина*



*Рис. 7. Термоабразия берега Берингова моря в районе п. Лаврентия. Фото (с тыльной стороны) А.А. Галанина*

Фоновая направленность развития вечной мерзлоты уже в ближайшее время может существенно измениться. Начавшееся общее похолодание оконтуривает отдельные геоэкологические риски (из-за усиления морозобойного трещинообразования в направлении разрушения отдельных геосистем), а с другой стороны – снижает естественную интенсивность термокарста.

Тем не менее картина антропогенно обостряется (например, по нашим наблюдениям в 1972–1973 г.г. в р-не п. Канчалан), из-за нарушений теплового баланса деятельных поверхностей, вызывая локальное разрушение геосистем с возникновением

борозд-рвов (до 1 м), оврагов (до 2 м) и других отрицательных форм.

Все изменения теплового баланса атмосферы-литосферы, вызываемые хозяйственной деятельностью человека на Чукотке, происходят в следующих направлениях:

а) в изменении на больших площадях вещественного состава почвогрунтов (возведение насыпей, дамб, плотин; распашка задернованных участков и лугов, снятие дерна; разработка полезных ископаемых открытым способом и т.д.);

б) в нарушении прихода-расходных частей теплового баланса территории (вырубка лесов и удаление снега, затенение или планация земной поверхности, спуск озер или устройство водохранилищ и т.д.);

в) в создании искусственных источников тепла (сооружение отапливаемых зданий и теплоцентралей, спуск теплых промышленно-бытовых вод, устройство палов и т.д.).

Хозяйственная деятельность человека в целом приводит к изменению мощности и среднегодовых температур вечномерзлых толщ. Так, до постройки Анадырского водохранилища в среднем течении р. Казачка указанные температуры в подошве слоя годовых колебаний были равны в среднем минус 4 °С. Последующие изменения этих температур в 1971 г. зафиксировали их значения в отдельных точках как 0 °С, а температуры донных отложений составляли плюс 4 °С. Одновременно с изменением отмеченных температур «прошли» термокарстовые процессы и возникли различные просадки грунтов.

Вмешательство человека в естественную природную обстановку чаще проявляется в нарушениях растительного покрова – этого наиболее динамичного природного фактора. Именно с такого рода нарушениями наиболее тесно связана активизация термокарстовых процессов. Пирогенные воздействия, в частности, на вечную мерзлоту, опосредствованные через уничтожение растительности, являются разноплановыми, но по своему эффекту занимают одно из важных мест в этом аспекте. Так, выгорание даже одного кустарникового и травянисто-кустарникового покрова приводит в общегодовом выводе к усилению жесткости температурных условий в почвогрунтах и формированию более низких температур вечномерзлых толщ, а в теплый период года – служит толчком к активизации оплывинно-солифлюкционных движений грунта на склонах и к началу интенсивного термокарста в пределах скопления ледяных

включений в грунтах различных местоположений и т.д. [24].

Строительство жилых поселков в пределах северных аллювиальных равнин, сложенных очень льдистыми грунтами, сопряжено с большими трудностями. Связано это с активизацией многих мерзлотных процессов (в первую очередь термокарстовых), протекающих с особой быстротой и осложняющих строительство и эксплуатацию сооружений. Так, под поселок Канчалан был выбран участок в пределах 1 и 2-й надпойменных террас в среднем течении р. Канчалан, где оказались широко развитые мощные и неглубоко залегающие к дневной поверхности полигонально-жильные льды. Снятие и (или) уплотнение дерново-мохового и снежного покрова, осушение и (или) обводнение грунтов, планация земной поверхности, а в некоторых случаях даже вскрытие и выведение на поверхность подземных льдов, в ходе строительства и эксплуатации жилых и служебных зданий, привело к резкой перестройке естественного гидротермического фона почвогрунтов. Это послужило причиной интенсивного вытаивания полигонально-жильных льдов. В результате сформировался бугристо-западинный рельеф, возникли термокарстовые просадки и овраги и оплывинно-солифлюкционные трансформации, что привело к разрушению многих зданий и дорог.

Устройство временных дорог в равнинной тундре приводит к механическому разрушению травяно-мохового покрова, который десятилетиями не восстанавливается. Так, по наблюдениям автора в 1972 г. в долине р. Танюрер, на поверхности зачехленных террас были отмечены единичные 15-летней давности глубокие (до 15–20 см) колеи тракторов и вездеходов. Эти колеи в ряде мест явились путями концентрированного стока дождевых и талых вод, что в конечном счете привело и к образованию оврагов. Превращение отдельной колеи в овраг происходит очень быстро. Так, по наблюдениям Н.А. Граве и И.А. Некрасова в 1961 г. в районе пос. Шахтерский (вблизи г. Анадыря), возникновение оврага на месте гусеничной колеи трактора произошло в течение 5 лет. В тех случаях, когда колеи, а потом и овраги совпадают в плане с простиранием ледяных жил или морозобойных трещин, процессы линейной эрозии и бурного термокарста протекают особенно активно.

Поскольку колеи-борозды от тракторов и вездеходов большей частью сильно об-

воднены (влажность грунтов в них часто превышает предел текучести), несущая способность почвогрунтов здесь быстро снижается до минимальных значений. Поэтому временные дороги прокладываются все время на новых местах, по соседству с прежними. В результате вокруг большинства чукотских поселков тундра в настоящее время «распахана» и представляет собой обширные пространства, лишенные растительного покрова, изобилующие рытвинами, водороедами, провалами, оврагами и термокарстовыми озерами самых различных очертаний. Причем во многих местах (например, вокруг поселков м. Шмидта, Певека, Депутатского, Шахтерского и др.) процессы оврагообразования, термокарста, солифлюкции и морозобойного трещинообразования протекают дальше уже без вмешательства человека.

Спуск теплых промышленно-бытовых вод в ручьи, озера, отдельные замкнутые западины активизирует термокарстовые процессы и приводит к заглоблению здесь верхней кровли вечной мерзлоты и увеличению мощности деятельного слоя. По немногочисленным данным бурения и электроразведки в районе поселков Амгуэмы, Шмидта и Шахтерского можно говорить, что по этим причинам за последние десятилетия произошло «точечное» понижение верхней кровли вечной мерзлоты до 5 м, а на поверхности – к термокарстовым просадкам.

Насыпные грунтовые дороги промерзают и служат препятствием со стороны склонов поверхностному и подерновому стоку. Последний объединяется с термокарстом вдоль дорог, и в результате формируются линейные рытвины и промоины. Так, вдоль насыпной дороги от бывшего аэропорта до пос. Шахтерского, ориентированной поперек склона, с 1964 по 1972 г. образовались овраги глубиной до 3 м.

Таким образом, в ходе хозяйственного освоения территорий активизируются все мерзлотные процессы, при ведущей роли термокарста. В зависимости от формы вмешательства в природные обстановки, нарастание активности термокарста и других мерзлотных процессов, приводящих к нежелательным последствиям, происходят чаще скачкообразно. Для достижения оптимально-устойчивого развития осваиваемых территорий необходим учет всех описанных явлений для исключения или минимизации их негативных эффектов [24].

### Приморье

Территория расположена на крайнем юге распространения редкоостровной и высокотемпературной (0-0,5°C) вечной мерзлоты, где последняя присутствует в основном только в верховьях речных долин и на горных участках хр. Сихотэ-Алинь. В соответствии с таким «возникшим редкоостровным объектным положением» находятся и проявления термокарста. Площади последнего естественно ограничены и в территориальном плане закономерно рассредоточены. Термокарст на местности проявляется в виде различных немногочисленных просадок, мелких котловин и крайне редко – термокарстовых озерков. На месте бугров пучения возникают западины и воронки, чаще заполненные водой, на месте разрушенных многолетних бугров пучения – озера (рис. 8), а в пределах единичных площадей термокарстового проседания формируются участки «пьяного леса» (рис. 9).



Рис. 8. Термокарстовое озеро на террасе в верховьях р. Опасная, на месте разрушенного многолетнего бугра пучения (бассейн р. Самарга, Северный Сихотэ-Алинь). Фото А.М. Короткого



Рис. 9. Площадь термокарстового проседания, возникшая на участке после сильного низового пожара, занятая «пьяным» лесом (урочище Килоу, бассейн р. Бикин). Фото А.М. Короткого

«Снятие» охлаждающего влияния растительного покрова (из-за пожаров или сплошных вырубок; строительства дорог и т.д.) и сопутствующее осушение грунтов приводит к деградации маломощных мерзлых толщ и активизации термокарстовых явлений. Последние в ландшафтогенезе Приморья выступают своеобразными факторными «вкраплениями», играющими заметную, но все же подчиненную роль в организации геосистем.

### Заключение

Исследования в разных частях криолитозоны России показывают, что в зоне сплошного распространения мерзлоты отмечается относительная стабильность термокарстовых озер – происходят только незначительные разнонаправленные изменения под влиянием локальных факторов. Однако по данным отдельных исследователей, отмечается увеличение площади озер: на территории Западной Сибири [9] и Центральной Якутии [10]. В зоне прерывистого распространения мерзлоты большинство исследователей отмечают сокращение площади озер под влиянием потепления климата, что связывают чаще с просачиванием воды в оттаявший грунт и с испарением воды из озер. На Чукотке отмечены противоречивые тенденции – в прибрежных районах происходит относительное увеличение площади озер, а в горных районах их уменьшение.

Всесторонний анализ представленных авторских тематических материалов по трем основным регионам свидетельствует, что наиболее полный и значимый системопреобразующий спектр термокарстовых процессов и явлений (от разрушения старых форм до создания новых модификаций) отмечается в современных обстановках Чукотки и носит в целом экстремальный характер. Это объясняется тем, что здесь относительно наибольшие колебания мощностей и среднегодовых температур вечномерзлых толщ, наиболее контрастны переходы температур через 0°C и, что очень важно – наиболее простые структуры организации ландшафтов. Относительно еще более неустойчивыми территориями в отношении термокарстового воздействия являются прибрежные участки северных морей и соседние низменности. В результате мы сталкиваемся здесь с неповторимостью и новизной активных противоречивых термокарстовых образований.

В других регионах – на Средне-Сибирском плоскогорье развитие термокарста характеризуется типичными показателями, а в Приморье – пониженными.

При этом в целом, в контексте климатических изменений (потепление – похолодание), протекающие в криолитозоне России термокарстовые процессы имеют широтную и долготную специфику:

а) в западном секторе Арктики озера в зоне сплошной вечной мерзлоты сохраняют стабильность или частично увеличивают свои площади, а в зоне прерывистой вечной мерзлоты, наоборот, сокращают их – по данным космических снимков 1973–2005 гг. [2, 10, 14];

б) в Восточном секторе Арктики (по данным автора на Чукотке и в соответствии с опубликованными источниками [2, 3]) термокарстовые озера, как индикаторы динамики состояния мерзлотных ландшафтов (но не потепления климата), свидетельствуют о начавшемся сокращении их площадей, а в Приохотье и Приморье – увеличиваемся сокращением.

Выбор стратегии рационального природопользования во всех рассмотренных районах должен быть всесторонне «щадящим» – по пространственно-временной нормализации природной среды (созданию и сохранению устойчивой агроэкологической обстановки; применению прогрессивных агротехнических приемов; улучшению условий и охраны труда путем совершенствования эргономических параметров рабочих мест и внедрения организационно-технических мероприятий), учитывающим существующие риски и определяемые ими экологические ограничения.

### Список литературы / References

1. Советский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1987. 1600 с.  
Soviet encyclopedic dictionary. M.: Soviet encyclopedia, 1987. 1600 p. (in Russian).
2. Кравцова В.И., Родионова Т.В. Исследование динамики площади и количества термокарстовых озер в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам // Криосфера Земли. 2016. Т. 20. № 1. С. 81–89.  
Kravtsova V.I., Rodionova T.V. A research of dynamics of the area and the number of thermokarst lakes in various regions of a kriolitozona of Russia according to space pictures // Kriosfera Zemli. 2016. T. 20. № 1. P. 81–89 (in Russian).
3. Анисимов М.А. Развитие природной среды Новосибирских островов в голоцене: дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2009. 154 с.  
Anisimov M.A. Development of the environment in the New Siberian Islands during Holocene: dis. ... kand. geogr. nauk. SPb., 2009. 154 p. (in Russian).
4. Нестерева М.И. Возникновение и распространение термокарстовых озер на территории Якутии // Молодой ученый. 2012. № 9. С. 79–82. URL <https://moluch.ru/archive/44/5202> (дата обращения: 24.09.2018).  
Nestereva M.I. Emergence and distribution of thermokarst lakes in the territory of Yakutia // Molodoj uchenyj. 2012. № 9. P. 79–82. URL <https://moluch.ru/archive/44/5202> (date of access: 24.09.2018). (in Russian).
5. Smith L.C., Sheng Y., Macdonald G.M., Hinzman L.D. Disappearing Arctic lakes. Science. 2005. Vol. 308. No. 5727. 1429 p. DOI:10.1126/science.1108142.

6. Термокарст: определение, формирование и воздействие на окружающую среду. URL: <https://natworld.info/raznoe-o-prirode/termokarst-opredelenie-formirovanie-i-vozdjestvie-na-okruzhajushhuyu-sredu> (дата обращения 24.09.2018).

Thermokarst: definition, formation and impact on the environment. URL: <https://natworld.info/raznoe-o-prirode/termokarst-opredelenie-formirovanie-i-vozdjestvie-na-okruzhajushhuyu-sredu> (date of access: 24.09.2018). (in Russian).

7. Ловелиус Н.В., Ретеюм А.Ю. Циклы солнечной активности в Арктике // Общество. Среда. Развитие. 2018. № 1. С. 128–130.

Lovelius N.V., Reteyum A.Yu. Cycles of solar activity in the Arctic // *Obshchestvo. Sreda. Razvitie*. 2018. № 1. P. 128–130 (in Russian).

8. Глобальная служба атмосферы. URL: <https://public.wmo.int/.../programmes/global-atmosphere-watch> programme (дата обращения: 16.06.2018).

Global Atmosphere Watch Programme. URL: <https://public.wmo.int/.../programmes/global-atmosphere-watch> programme (date of access: 16.06.2018) (in Russian).

9. Брыксина Н.А., Полищук В.Ю., Полищук Ю.М. Изучение взаимосвязи изменений климатических и термокарстовых процессов в зонах сплошной и прерывистой мерзлоты Западной Сибири // Вестник Югорского государственного университета. 2009. № 3. С. 3–12.

Bryksina N.A., Polishchuk V.Yu., Polishchuk Yu.M. Study of the relationship between climatic and thermokarst processes in continuous and discontinuous permafrost zones of Western Siberia // *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009. № 3. P. 3–12 (in Russian).

10. Кравцова В.И., Быстрова А.Г. Изменение размеров термокарстовых озер в различных районах Сибири за последние 30 лет // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 2. С. 16–26.

Kravtsova V.I., Bystrova A.G. Change of the sizes of thermokarst lakes in various Areas of Siberia for the last 30 years // *Kriosfera Zemli*. 2009. T. 13. № 2. P. 16–26 (in Russian).

11. Кравцова В.И., Тарасенко Т.В. Изучение и картографирование динамики термокарстовых озер на территории Западной Сибири по разновременным космическим снимкам // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2010. Т. 1. № 1. С. 96–103.

Kravtsova V.I., Tarasenko T.V. Investigation of changes in thermokarst lake distribution in West Siberia by multitemporal satellite images // *Dinamika okruzhayushhej sredy i global'ny'e izmeneniya klimata*. 2010. T. 1. № 1. P. 96–103 (in Russian).

12. Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозоне Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 311. С. 185–189.

Kirpotin S.N., Polishchuk Yu.M., Bryksina N.A. Thermokarst lakes square dynamics of West Siberian continuous and discontinuous permafrost under impact of global warming // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2008. № 311. P. 185–189 (in Russian).

13. Тарасенко Т.В., Кравцова В.И. Исследование изменений площадей термокарстовых озер на основе анализа космических снимков // Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению ТИСОП (г. Салехард, 25–29 июня 2012 г.). Салехард: Северное издательство; Тюмень: ООО «Печатник», 2012. Т. 3. С. 505–510.

Tarasenko T.V., Kravtsova V.I. A research of changes of the areas of thermokarst lakes on the basis of the analysis of space pictures // *Works of the Tenth International conference on TICOPE permafrostology* (Salekhard, on June 25–29, 2012). Salekhard: Severnoe Izdatel'stvo. Tyumen: LLC Pechatnik, 2012. T. 3. P. 505–510. (in Russian).

14. Родионова Т.В. Исследование динамики термокарстовых озер в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам. М.: МГУ, 2013. 196 с.

Rodionova T.V. A research of dynamics of thermokarst lakes in various regions of a kriolitozona of Russia according to space pictures. M.: MGU, 2013. 196 p. (in Russian).

15. Оценка возможностей использования снимков со спутника Landsat для изучения динамики термокарстовых озер // Тезисы конференции «Геокриологическое картографирование: проблемы и перспективы» (Москва, 5–6 июня 2013 г.). 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа: CD-R. гос. регистрации обязат. электрон. Издания – 0321302405.

Assessment of opportunities of use of pictures from the Landsat satellite for studying of dynamics of thermokarst lakes // *Theses of a conference «Geocryologic mapping: problems and prospects»* (Moscow, on June 5–6, 2013). 2013. [Electronic resource] access Mode: The state registrations to oblige the CD-R. electron. Editions – 0321302405 (in Russian).

16. Малкова Г.В., Павлов А.В. Геоинформационное картографирование современных изменений климата и криолитозоны на севере России // Труды 10 Международной конференции по мерзлотоведению ТИСОП (Салехард, 25–29 июня 2012 г.). Тюмень: ООО «Печатник», 2012. Т. 3. С. 313–318.

Malkova G.V., Pavlov A.V. Geoinformation mapping of modern climate changes and a kriolitozona in the north of Russia // *Works of the 10th international conference on TICOPE permafrostology* (Salekhard, on June 25–29, 2012). Tyumen: LLC Pechatnik, 2012. T. 3. P. 313–318 (in Russian).

17. Елсаков В.В., Марушак И.О. Спутниковые изображения в анализе количественных характеристик лесных фитоценозов Печеро-Ильчского заповедника Республики Коми // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 303–309.

Elsakov V.V., Marushchak I. O. Satellite images in the analysis of quantitative characteristics of forest fitotzenoz of the Pechero-Ilychsky reserve of the Komi Republic // *Sovremeny'e problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2011. T. 8. № 4. P. 303–309 (in Russian).

18. Кравцова В.И., Тюкавина А.Ю. Компьютерные стереонаблюдения при географическом дешифрировании аэрокосмических снимков // Геодезия и картография. 2010. № 3. С. 34–39.

Kravtsova V.I., Tyukavina A.Yu. Computer stereoobservations while geographical interpretation of aerospace imageries // *Geodeziya i kartografiya*. 2010. № 3. P. 34–39 (in Russian).

19. Босинов Н.П., Исаев А.П., Иванова Е.И., Захарова В.И., Сивцева Л.В., Иванова А.П., Семенов С.Г., Аммосова В.Н., Порядина Л.Н., Исакова В.Г. Ритмы развития аласных экосистем Центральной Якутии // Наука и образование. 2012. № 2. С. 52–57.

Bosinov N.P., Isaev A.P., Ivanova E.I., Zakharova V.I., Sivtseva L.V., Ivanova A.P., Semyonov S. G., Ammosova V.N., Poryadina L.N., Isakova V.G. Rhythms of development of alasy ecosystems of the Central Yakutia // *Science and education*. 2012. № 2. P. 52–57 (in Russian).

20. Каплина Т.Н. Аласные комплексы Северной Якутии // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 4. С. 3–17.

Kaplina T.N. Alasnye complexes of Northern Yakutia // *Kriosfera of Earth*. 2009. T. 13. № 4. P. 3–17 (in Russian).

21. В Сибири обнаружили признаки грядущей катастрофы. URL: <https://lenta.ru/news/2018/08/20/permafrost/> (дата обращения: 14.08.18).

In Siberia found signs of the future accident. URL: <https://lenta.ru/news/2018/08/20/permafrost/> (date of access: 14.08.2018) (in Russian).

22. Скрыльник Г.П. Курумообразование и общая тенденция развития рельефа Дальнего Востока // Геоморфология и неотектоника горных стран Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 86–88.

Skrylnik G.P. Kurumoobrazovaniye and general trend of development of a relief of the Far East // *Geomorphology and neotectonics of highlands of the Far East. Vladivostok: DVNCz AN SSSR, 1977. P. 86–88 (in Russian).*

23. Скрыльник Г.П. Морфогенетический эффект термокарста в районах редкоостровной вечной мерзлоты Сибири // Исследования взаимодействий в геосистемах. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 239–242.

Skrylnik G.P. Kurumoobrazovaniye and general trend of development of a relief of the Far East // *Geomorphology and neotectonics of highlands of the Far East. Vladivostok: DVNCz AN SSSR, 1977. P. 86–88 (in Russian).*

24. Скрыльник Г.П. Некоторые вопросы динамики вечной мерзлоты и криоморфогенеза в связи с хозяйственной деятельностью на Северо-Востоке СССР // Природа и Человечество. Владивосток: ТИГ ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 112–117.

Skrylnik G.P. Some questions of dynamics of permafrost and a cryomorphogenesis in connection with economic activity in the Northeast of the USSR // *the Nature and the Person. Vladivostok: TIG DVNCz AN SSSR, 1973. P. 112–117 (in Russian).*

25. Котов А.Н. Многолетнемерзлые породы // Труды НИЦ «Чукотка». Вып. 5. Магадан: Изд-во СВНЦ ДВО РАН, 1997. С. 9–13.

Kotov A.N. Permafrost breeds // *Trudy NITCz «Chukotka»*. Vy'p. 5. Magadan: Izd-vo SVNCz DVO RAN, 1997. P. 9–13 (in Russian).