

## “ПРИЧУДЫ” ТЕРМОКАРСТА

**Б.И. Втюрин, С.М. Говорушко**

*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 690041, Владивосток, ул. Радио, 7, Россия; sgovor@tig.dvo.ru*

Рассмотрены термокарстовые процессы в низовьях р. Индигирка. Дана краткая характеристика обнажения Воронцовский яр – опорного разреза для этой территории. Описано явление вертикального и наклонного расположения отмерших деревьев корнями кверху в днище термокарстовой котловины и объяснен механизм такой кардинальной переориентировки деревьев в пространстве.

*Термокарст, ледяные жилы, едома, низовья Индигирки, байджеяхи, льдистость*

### “WHIMS” OF THERMOKARST

**B.I. Vtyurin, S.M. Govorushko**

*Pacific Geographical Institute, FEB RAS, 690041, Vladivostok, Radio str., 7, Russia; sgovor@tig.dvo.ru*

Thermokarst processes in the low reaches of the Indigirka River are considered. Vorontsov Yar exposure – the key section for the given territory is briefly characterized. The phenomenon of vertical and inclined arrangement of dead trees with roots up is described. The mechanism of such radical reorientation of the trees is interpreted.

*Thermokarst, wedge ice, yedoma deposits, lowers reaches of the Indigirka River, cemetery mounds, ice content*

## ВВЕДЕНИЕ

Как известно, термокарст – это процесс неравномерного проседания почв и подстилающих горных пород вследствие вытаивания подземного льда. Данный процесс характерен прежде всего для аккумулятивных равнин севера Евразии и Северной Америки. Термокарст относительно хорошо изучен, этому посвящен ряд монографий [Качурин, 1961; Фельдман, 1984; Шур, 1988]. Он представляет серьезную опасность для сохранности, устойчивости и нормальной эксплуатации зданий, автомобильных и железных дорог, трубопроводов и т. д. Многочисленные примеры деформаций различных сооружений вследствие термокарста приведены в монографиях [Говорушко, 2007; Govorushko, 2012].

Развитие термокарста можно подразделить на три стадии [Динамическая геоэкология, 2001]. На первой стадии вследствие изменения внешнего теплообмена увеличивается глубина сезонного протаивания и образуется просадка поверхности, заполняющаяся водой. На второй стадии глубина водоема начинает превышать критическую величину, при которой среднегодовая температура поверхности дна становится равной 0 °С. Третья стадия наступает, когда размер озера в поперечнике превышает мощность многолетнемерзлых пород и под ним формируется сквозной талик.

Данная схема характеризует развитие озерного термокарста. При термокарсте, сопровождающемся стоком воды, возникают формы термодер-

модационного микрорельефа: байджеяхи, термокары, термоцирки и др. Следует отметить, что мощная активизация термокарстовых процессов на всей территории современной Северной Якутии произошла в связи с потеплением на рубеже позднего плейстоцена–голоцена [Каплина, 2011].

Настоящая работа основана на результатах исследований, проводившихся в низовьях р. Индигирка. Главной характерной особенностью территории, определяющей ее морфологический облик, является наличие огромных запасов подземных льдов. Пылеватые тонкозернистые отложения едомы буквально “нашпигованы” ледяными жилами. Расчетом объемной льдистости горных пород по методике Ш.Ш. Гасанова [1971] получено значение 58 %, в том числе 40 % за счет повторно-жильного и 18 % за счет сегрегационного льда и льда-цемента [Говорушко, 1981].

### ОБНАЖЕНИЕ ВОРОНЦОВСКИЙ ЯР

Рассматриваемый разрез является опорным для района Воронцовский яр и представляет собой продолговатый останец, ограниченный с трех сторон аласами и термоэрозионными долинами, а со стороны Индигирки активным термокарстовым уступом общей высотой 40 м.

Образование Воронцовского обнажения связано с прорывом в начале XX в. одноименного озера. На правом берегу промытого оврага и образо-

валось первоначальное обнажение. Постепенно глубина этого оврага увеличилась, а его ответвления покрыли сеть дна аласа с глубиной врез 10–15 м. Отступление стенки обнажения с тех пор составило более 800 м.

Воронцовский яр является одним из крупнейших обнажений повторно-жильных льдов, в котором вскрывается система криогенных и посткриогенных образований: сингенетические и эпигенетические повторно-жильные льды, термокарстово-пещерные образования и псевдоморфозы. В середине 1970-х гг. протяженность обнажения была 650 м, высота жил в уступе достигала 22 м, а общие вертикальные размеры жил, судя по фрагментам их выхода в байджераховом поле, составили 50 м. Всего в нем вскрывается более 60 ледяных жил, расположенных под разными углами [Втюрин и др., 1984].

Наиболее молодой алас, судя по возрасту деревьев, ограничивает останец с севера. Спуск термокарстового озера произошел в результате его миграции и последующего прорыва по долине в приток Индигирки – р. Мугурдах. Таким образом, современный облик поверхности приобрела под влиянием длительно развивавшихся термокарстовых процессов по высокольдистым отложениям едомы и последующей относительно скоротечной термоэрозии.

Судьба обнажений, подобных Воронцовскому, зависит от двух факторов [Говорушко, 1981]: количества воды, образующейся при таянии льда (прежде всего жильного), и уклона водотоков. Эти факторы определяют энергию водного потока, производящего вынос твердого материала с обнажения. В случае недостатка энергии водотоков обнажения вначале распадаются на отдельные фрагменты, а затем бывают погребены под своими отложениями. Если энергии для выноса отложений

хватает, то отступление обнажений приводит к полному уничтожению останцов едомы.

В целом это обнажение детально изучено, ему посвящен ряд статей [Болховская и др., 1978; Втюрин и др., 1984; и др.].

### ЗАГАДОЧНОЕ ЯВЛЕНИЕ

Обследуя одну из термокарстовых котловин вблизи Воронцовского яра, авторы столкнулись с совершенно невероятным фактом: стволы деревьев стояли вертикально (см. рисунок, *а*) или наклонно (см. рисунок, *б*), но ... корнями вверх. Вначале такое противоестественное положение деревьев поставило нас в тупик. Позднее мы смогли понять причины и механизм процесса, обусловившего такую ситуацию. Ход такой кардинальной переориентировки деревьев в пространстве представляется нам следующим образом.

Спуск Воронцовского озера произошел не сразу. Первый прорыв, судя по толщине стволов деревьев (10–15 см) и учитывая, что необходимо было время для осушения поверхности, задернования, т. е. подготовки почвы для принятия первых поселенцев, состоялся в начале XX в. Но котловина осушилась не полностью. Небольшое озеро в ее наиболее пониженной части сохранилось. Сток осуществлялся в сторону современного русла р. Индигирка.

Особенность термокарста на севере сибирских равнин состоит в том, что ледяные жилы часто протаивают не до конца. “Корни” жил остаются под озерами, если на дне успевает накопиться достаточно мощный слой осадков (на это идет прежде всего грунт, заключенный в ядрах жильных полигонов), препятствующий их дальнейшему таянию.

Рано или поздно термокарстовые озера дренируются. Тогда на обнажившемся днище становятся



Вертикально (*а*) и наклонно (*б*) расположенные стволы отмерших лиственниц в днище аласа. Фото Б.И. Втюрина.

видны так называемые бугристые полигоны (одна из стадий развития полигонально-жильного рельефа). При вытаивании ледяных жил происходит интенсивная просадка вышележащего грунта. Земляные ядра полигонов, содержащие мелкие прослойки сегрегационного льда, также оседают, но в меньшей степени. На вершинах этих бугров в первую очередь поселяются кустарнички и лишайники.

Через 50–60 лет после первого прорыва случился второй. Он произошел в противоположную сторону, в другую термокарстовую котловину с озером, уровень которого был ниже. Начался врез в днище котловины. Это привело, во-первых, к резкому изменению водного режима поверхности и к отмиранию деревьев, а во-вторых, к возобновлению термокарста по оставшимся “корням” ледяных жил. Понижения над жилами углубились. На пересечении жил образовались небольшие по площади, но довольно глубокие озерки-колодцы. Грунт с вершин бугров-полигонов стал оползать, а деревья – падать в сторону наибольших уклонов, т. е. в межполигональные понижения. В тех случаях, когда вершины упавших деревьев оказывались в межполигональных понижениях, увеличение глубины термокарстовых озерков-колодцев приводило ко все большему наклону деревьев, пока они не установились в вертикальное положение корнями кверху. О том, что процесс шел и продолжает идти именно так, свидетельствуют его разные стадии, которые наблюдаются сейчас. Часть деревьев еще только упала, другая – уже приняла наклонное положение (корнями вверх), а третья часть находится в вертикальном состоянии.

Однако это все же промежуточное положение отмирающих деревьев. Судя по тому, как дальше шел процесс вблизи нового прорыва, где врез и дренирование полигональных озерков происходили более интенсивно, они снова упадут, но теперь уже в противоположную сторону – в сторону наступающего вреза.

По-видимому, если врез окажется небольшим и жилы опять протают не до конца, то все может повториться снова. Гидрогеологические условия верхних слоев грунта стабилизируются и термокарстово-полигональное днище котловины примет новых поселенцев.

Другое любопытное явление было замечено в современном термокарстовом цирке ниже Воронцовского обнажения, где мы обнаружили байдже-рах со сквозным овальным отверстием. Сделав расчистку ниже “окна”, мы выяснили, что к образованию отверстия привел термокарст по небольшой ледяной жиле, рассекающей байдже-рах пополам. Вероятно, в процессе накопления и промерзания этой толщи были периоды похолодания и потепления. Во время похолоданий существовавшие жильные полигоны разбивались дополни-

тельными морозными трещинами, и в земляных ядрах больших полигонов стали расти мелкие ледяные жилки. Во время потепления рост их вверх прекращался. Вот эта небольшая ледяная жилка, когда-то прекратившая свой рост, тоже начала вытаивать и послужила причиной образования “окна” в байдже-рахе.

## ВЫВОДЫ

Хотя термокарст достаточно хорошо изучен, в его механизме имеются еще невыясненные детали. Значимость термокарста для человеческой деятельности в условиях глобального потепления возрастает. Оттаивание льдонасыщенных грунтов в основаниях насыпей будет приводить к просадкам полотна железных и автомобильных дорог, разрушениям железнодорожных путей, деформациям твердого покрытия автомобильных дорог и аэродромов. Термокарст в основании фундаментов зданий приведет к потере несущей способности грунтов и вызовет их деформации.

## Литература

- Болиховская Н.С., Болиховский В.Ф., Втюрин Б.И. и др.** Едомные отложения Воронцовского яра в низовьях реки Индигирки // Палеогеография плейстоцена Дальнего Востока и его морей. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1978, с. 42–47.
- Втюрин Б.И., Болиховская Н.С., Болиховский В.Ф., Гасанов Ш.Ш.** Воронцовский разрез едомных отложений в низовьях р. Индигирки // Бюл. Комис. по изучению четвертичного периода. М., 1984, № 53, с. 12–21.
- Гасанов Ш.Ш.** Объемная льдистость мерзлых пород // Перигляциальные процессы. Магадан, Кн. изд-во, 1971, с. 167–179.
- Говорушко С.М.** Подземные льды и термокарст в низовьях р. Индигирки // Полевые и экспериментальные исследования мерзлых толщ. Якутск, ИМ СО АН СССР, 1981, с. 34–39.
- Говорушко С.М.** Влияние геологических, геоморфологических, метеорологических и гидрологических процессов на человеческую деятельность. Ил. справ. пособие. М., Акад. проект, 2007, 684 с.
- Динамическая** геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Изд-во Моск. ун-та, 2001, 688 с.
- Каплина Т.Н.** Древние аласные комплексы Северной Якутии (Сообщение 1) // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 2, с. 3–13.
- Качурин С.П.** Термокарст на территории СССР. М., Изд-во АН СССР, 1961, 292 с.
- Фельдман Г.М.** Термокарст и вечная мерзлота. Новосибирск, Наука, 1984, 261 с.
- Шур Ю.Л.** Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст. Новосибирск, Наука, 1988, 209 с.
- Govorushko S.M.** Natural Processes and Human Impacts. Interactions between Humanity and the Environment. Dordrecht, Springer, 2012, 678 p.

Поступила в редакцию  
10 марта 2012 г.