

- [10] Кузин И. Л. Глиняный диапиризм — важная составная часть новейшего тектогенеза Западной Сибири // Региональная неотектоника Сибири. Новосибирск: Наука, 1983. С. 35—48.
- [11] Кузин И. Л. О приоритете в изучении поверхностных газопроявлений в Западной Сибири // Геология и геофизика. 1990. № 9. С. 142—144.
- [12] Кузин И. Л. Голубые озера областей гумидного климата // Изв. РГО. 2001. Т. 133. Вып. 3. С. 44—51.
- [13] Кузин И. Л. О геологической роли синезеленых водорослей и природных условиях докембрия // Изв. РГО. 2007. Т. 139. Вып. 2. С. 48—64.
- [14] Намсараев З. Б. Микробные сообщества щелочных гидротерм // Дис. канд. биол. наук. М., 2003. 151 с.
- [15] Нестеров И. И., Генералов П. П., Подсосова Л. Л. Западно-Сибирская провинция кремнисто-опаловых пород // Советская геология. 1984. № 3. С. 35—40.
- [16] Соколов Б. С. Органический мир Земли на пути к фанерозойской дифференциации // Вестн. АН СССР. 1976. № 5. С. 31—45.
- [17] Соколов Б. С., Федонкин М. А. Проблемы эволюции. [http // www. evolbiol. ru / fedonkin. Htm](http://www.evolbiol.ru/fedonkin.Htm)
- [18] Технология производства синтетических опалов и их имитаций. [http: // www.webois. org.ua/jewellery/stones/sinteticab.htm](http://www.webois.org.ua/jewellery/stones/sinteticab.htm)
- [19] Фролов В. Т. Литология. Кн. 1. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 1992. 336 с.

Санкт-Петербург
onyak@mail.ru

Поступило в редакцию
17 февраля 2011 г.

Изв. РГО. 2012. Т. 144. Вып. 3

© Е. В. ТРОФИМОВА

КАРСТ ПРИРОДНОГО ПАРКА «ЛЕНСКИЕ СТОЛБЫ» — УНИКАЛЬНОЕ ПРИРОДНОЕ ЯВЛЕНИЕ

Введение. С середины прошлого века, с работ Дж. Корбеля [11], среди карстологов прочно укоренилось представление о развитии карстовых процессов в холодных климатических условиях. В то же время трудами российского географа С. С. Коржуева [3—5] в мировую карстологию было введено понятие мерзлотного карста, под которым понимаются явления и формы, возникающие в области распространения многолетнемерзлых пород и развивающиеся при отрицательном температурном режиме ([9], с. 71).

Настоящая работа представляет результаты исследований, целью которых было изучение особенностей проявления мерзлотного карста на территории природного парка (ПП) «Ленские Столбы», номинируемой в Список объектов мирового природного наследия ЮНЕСКО.

Физико-географические особенности территории. Природный парк «Ленские Столбы» расположен в среднем течении р. Лена, географические координаты: 60° 06' 30" — 61° 17' 13" с. ш. и 124° 59' 33" — 128° 53' 00" в. д., на площади 1272 150 га. Орографически район исследований принадлежит к Прилен-

скому плато с абсолютными отметками 300—500 м, рассеченному долинами рек Лена, Буотама и Синяя (рис. 1). Рельеф территории представляет собой пластовое плато, сформировавшееся в результате переработки древнепалеозойских структур под действием нескольких циклов эрозии и денудации, продолжающихся до настоящего времени [2, 8]. Карстующиеся породы в пределах парка представлены известняками и доломитами нижнего кембрия мощностью до 400—500 м, перекрытыми криогенно-эоловыми отложениями в придолинной полосе Приленского плато, а также на водоразделах Лены, Буотамы и Синей. Климат региона субарктический резко континентальный. По данным наблюдений на метеорологической станции Покровск за период с 1960 по 2009 г. средняя годовая температура воздуха здесь составляет -9.8°C при ее годовой амплитуде в 98°C , величина средних годовых осадков не превышает 249 мм. Природный парк «Ленские Столбы» находится в условиях сплошного распространения многолетнемерзлых пород мощностью до 500 м [6].

Особенности развития мерзлотного карста. Несмотря на незначительное количество осадков, выпадающих на территории ПП «Ленские Столбы», карстовые процессы получили здесь широкое распространение, что предопределяется прежде всего ролью многолетнемерзлых пород по отношению к воде, являющейся основным фактором карстификации. С одной стороны, в весенний и летний периоды из-за низких температур поверхности почвы величина испарения практически равна нулю. Добавим, в теплую половину года почвенный покров активно конденсирует на своей поверхности водяной пар из воздуха, вследствие значительной разницы температур воздуха и поверхности почвы. С другой стороны, мерзлота препятствует быстрой фильтрации атмосферных осадков в глубь карстовых массивов. Таким образом, на поверхности происходит накопление влаги, обуславливающей процессы карстогенеза. Поэтому для раз-



Рис. 1. Приленское плато, рассеченное долиной р. Лена (фото А. Оглобина).

вития карстового рельефа в районах многолетнемерзлых пород необходимо в несколько раз меньше атмосферных осадков, чем для территорий, где мерзлота отсутствует вообще [7, 14]. Активизации карстового процесса в пределах ПП «Ленские Столбы» способствует и повышение растворимости свободной углекислоты и карбонатной емкости воды при низких температурах, а также тепляющее влияние на состояние криолитозоны инфильтрации дождевых осадков по многочисленным трещинам, получившим значительное распространение вдоль русел рек.

Мерзлотный карст природного парка «Ленские Столбы». На территории ПП «Ленские Столбы» получили распространение три репрезентативных морфолого-генетических типа карста: голый, покрытый и задернованный. Голый карст наблюдается преимущественно в придолинной полосе правобережной части Приленского плато и в прилегающем к ней коренном склоне долины р. Лена, где вследствие смыва рыхлых отложений карстующиеся породы обнажаются непосредственно на поверхности. Покрытый карст приурочен как к цокольным террасам р. Лена, так и к придолинной полосе Приленского плато, а также к водоразделам Лены, Буотамы и Амги, где мощность осадочного чехла может достигать нескольких десятков метров. Задернованный карст отмечается на участках склонов долин, где поверхностный рыхлый покров обычно сильно размыт.

В пределах ПП «Ленские Столбы» наблюдаются следующие классические проявления карста. Среди поверхностных форм выделим многочисленные овальные, почти округлой формы, *карстовые воронки*, преимущественно конусообразные, реже асимметричные и блюдцеобразные. Их формирование обусловлено карстовым процессом с участием надмерзлотных вод, а также процессами морозного и криогидратационного выветривания, способствующими увеличению поверхности растворения карбонатных пород и росту активности эрозионных процессов. Диаметр воронок составляет от 5—10 до 20—40 м при глубине от 0.5 до 10 м. Некоторые воронки, расположенные на дне сухих русел, достигают 100—150 м в диаметре при глубине до 20—25 м. Блюдцеобразные воронки имеют диаметр от 50 до 100 м при глубине до 0.5 м. В условиях голого карста в днищах воронок зачастую отмечаются открытые трещинные поноры. В покрытом карсте поноры-щели, вскрытые в днищах воронок (рис. 2), указывают на наличие под песчаными отложениями трещиноватых карстующихся известняков, обеспечивающих более свободный дренаж поверхностных вод. Последнее является подтверждением современной активности карстового процесса.

В размещении воронок выявлена следующая особенность. Значительная часть воронок концентрируется согласно определенным линиям, совпадающим с неглубокими эрозионными понижениями. Как показали исследования, ориентация этих понижений соответствует основным системам тектонической трещиноватости карстующихся пород — диагональной, реже ортогональной, широко представленным на территории парка. На поверхности плато прослеживаются поля карстовых воронок.

В сухой сезон воронки лишены воды, только в наиболее глубоких из них отмечается влажный делювиальный покров. Такие воронки зарастают кустарником, а на их днищах растет осока. Во время дождей воронки наполняются водой, превращаясь в небольшие озера. С течением времени вода из этих озер просачивается в трещины и озера исчезают.

Слияние карстовых воронок, расположенных вдоль основных систем тектонической трещиноватости горных пород (диагональной, реже ортогональ-



Рис. 2. Попор на дне карстовой воронки в устье р. Буотама (фото Л. Киприяновой).

ной), широко представленных на территории парка, предопределило формирование карстово-эрозионных долин с временным стоком — *суходолов*: их длина здесь достигает более 10 км. Так, для р. Куяда протяженность суходола составляет 21 км, для руч. Арга-Кынат — 15, для руч. Тигилян — 10.5 км и т. д. М. Пулина и Ж.-Н. Саломон [12] рассматривают суходолы в качестве классической формы карста холодных регионов.

Слияние нескольких соседних карстовых воронок в условиях заполнения карстовых пустот песчано-глинистыми отложениями привело к образованию *карстовых озер*. Наиболее крупные озера расположены на водоразделах Лены, Буотамы и Амги и занимают карстовые депрессии до нескольких километров в диаметре. Очевидно, что эти депрессии являются реликтами палеокарста. Озера, обычно с промерзшим дном и берегами, имеют глубину более 2 м. Но большинство озер в долинах рек и ручьев — это небольшие проточные водоемы (до 10—30 м в диаметре), соединенные короткими участками речных русел.

Небольшие размеры озер, округлая форма и крутые высокие (до 5 м) берега отражают их несомненно карстовое происхождение. Зачастую на берегах обнажаются известняки, отдельные обломки которых можно видеть и на дне водоемов. На крутых берегах развиваются процессы оползания склонов и солифлюкция. Минерализация воды в озерах не превышает 100 мг/л, что указывает на затухание процессов растворения и на питание озер только за счет атмосферных осадков [3, 13].

Исчезающие реки и ручьи — характерная особенность гидрографической сети рассматриваемого региона. За исключением крупных рек — Буотамы и

Синей, все карстовые реки и ручьи природного парка имеют прерывистый водоток либо в верхнем, либо в среднем или нижнем течении (р. Марбадай, руч. Нуча-Уряге, руч. Арга-Кынат и др.), причем в руслах зачастую фиксируются провалы в виде воронок, щелей, иногда с понорами.

Карстовые источники представлены двумя типами: пластовые слабонапорные, с водами гидрокарбонатно-кальциево-магниевого состава (с минерализацией в 200—400 мг/л), связанные с над- и межмерзлотными горизонтами и приуроченные к таликам у основания склонов, и напорные источники сульфатного и натриевого состава (с минерализацией до 2000 мг/л), относящиеся к глубоким меж- и подмерзлотным водоносным горизонтам, разгружающимся в днища рек и ручьев, где мощность многолетнемерзлых толщ незначительная [1, 13]. Пластовые карстовые источники встречаются наиболее часто. Как правило, они характеризуются резким изменением режима и химического состава в течение года и малым дебитом. Напорные источники отличаются постоянством режима и химического состава, их дебит достигает нескольких десятков литров в минуту.

В условиях голого карста на водоразделах Лены и Буотамы наблюдаются специфические формы карстового рельефа — *карры*, возникающие вследствие неравномерного растворения карстующихся горных пород. Желобковые карры (*Rillenkarrren*, по А. Bögli) формируются на крутых известняковых склонах в виде мелких и узких (до 2—3 см) параллельных желобков, ориентированных по падению откоса и разделенных резкими гребешками. На пологих поверхностях, где вода стекает медленно, вдоль рассекающих горные породы трещин (преимущественно диагонального и ортогонального направлений) фиксируются трещинные карры (*Kluftkarrren*), так называемые «известняковые тротуары». В отдельных местах наблюдаются мелкие, с плоским дном и нависающими стенками бассейны растворения — *каменицы*. Их образование связано с коррозией известняков стоячими дождевыми водами. В диаметре каменицы не превышают 10—15 см при глубине до 5 см.

Своеобразной формой подземного (глубинного) карста, вскрытого р. Лена при эпизодическом врезании в Приленское плато, являются знаменитые «Ленские Столбы», протянувшиеся вдоль берегов рек Лена, Синяя и Буотама как в виде отдельных *останцов*, так и в виде зубчатых стен — гигантские карры (рис. 3). Высота столбов достигает 200—350 м. Развитие глубинного карста связано с работой меж- и подмерзлотных вод. Современное моделирование карстового рельефа «Ленских Столбов» в значительной мере обусловлено избирательным выветриванием и выщелачиванием известняков, характеризующихся различной растворимостью разных пластов. Карстовому процессу подвергалась каждая небольшая трещина в карбонатном массиве, что привело, с одной стороны, к ее непрерывному расширению и отчленению очередного блока от основного массива горных пород, а с другой — к образованию многочисленных *ниш*, *щелей*, *навесов*, *естественных арок*, а также небольших *пещер* (каналов) и *коридоров*. Размеры *ниш*, *щелей* и *навесов* незначительны: до 1—2 м в ширину и до 3—4 м в глубину. Протяженность пещер не превышает 20—30 м. В верхних частях склонов долин рек Лена, Буотама и Синяя широкое распространение получили многочисленные щелевидные полости (коридоры), заложенные вдоль трещин бортового отпора. Их размеры достигают в длину 50—100 м при ширине 0.5—2.0 м. Здесь же отмечаются *органные трубы*, *шахты*, *провалы*, что является несомненным свидетельством активности современных карстовых процессов на территории ПП «Ленские Столбы».



Рис. 3. Синские столбы долины р. Синяя (фото А. Буторина).

Оценка активности современного карстогенеза. Как показано в обзоре методов расчетов активности карстовых процессов [10], в настоящее время для их оценки используются следующие основные четыре группы методов: 1) химические модели, использующие в расчетах гидрохимическую информацию; 2) климатические модели, опирающиеся на эмпирические связи между величиной карстовой денудации и климатическими характеристиками; 3) морфометрические методы, базирующиеся на измерении карстовых форм по геоморфологическим картам и подземных топографическим съемкам пещер и 4) методы стационарных наблюдений.

Климатические модели обычно реализуются для региональных выводов на базе расчетов для нескольких десятков пунктов наблюдений за метеорологическими параметрами. В нашем случае территория незначительна по размерам и имеет одну метеорологическую станцию с рядом многолетних наблюдений. В настоящее время нет базы и для морфометрических методов исследований: к сожалению, для ПП «Ленские Столбы» отсутствуют как детальные геоморфологические карты, так и топографические съемки пещер. Стационарные наблюдения за развитием карста на территории исследований не проводились вообще. Поэтому единственно возможным методом оценки рассматриваемого показателя являются химические модели, использующие в расчетах гидрохимическую информацию.

В основу оценки современного развития мерзлотного карста в пределах ПП «Ленские Столбы» были положены данные многолетних наблюдений за химическим стоком по гидрометеорологическому посту р. Буотама-ст. Бролог. Рас-

четыре осуществлялись по классическим методам М. Пулины и Дж. Корбеля, а также с использованием нового в условиях России метода максимально потенциального растворения карбонатных пород, предложенного французским карстологом Ф. Гомбертом [10] и рекомендованного для условий экстремальных климатов. Данные расчетов представлены в таблице. Как видно из таблицы, расхождения в данных, полученных различными методами, в целом незначительны. Поэтому показатель средней активности современного карстогенеза для территории природного парка «Ленские Столбы» определялся осреднением по трем методам расчетов и составил 10.3 мм/1000 лет.

Мерзлотный карст ПП «Ленские Столбы» в Списке объектов мирового природного наследия ЮНЕСКО. Классической формой рельефа закарстованных территорий являются карстовые плато. Сам термин «карст» произошел от названия плато Карст или Крас (абс. отметки местности варьируют от 380 до 430 м) в Словении, сформированного на известняках меловой системы. Карстовые плато широко представлены в разных районах земного шара: плато Гранд-Косс, поднимающееся до 700—1000 м в юрских известняках и доломитах; плато Воклюз (от 338 до 1912 м над ур. м.) в известняках нижнего мела (Франция); плато «Каменное море», протянувшееся до высот 2500—3000 м в известняках и мергелях триаса с участием карбонатных пород юры и мела (Австрия); серия плато на границе Словении и Венгрии в известняках триаса: Коннар, Плешивец, Силицкое и Ясовское (650—950 м); известняковое плато Яррангбилли (силур—девон) на отметках 1100 м в Австралии; знаменитое плато Мамонтовой пещеры в известняках каменноугольного возраста (Северная Америка) и т. д.

В списке объектов всемирного природного наследия в настоящее время находятся четыре карстовых плато, имеющие выдающееся всемирное значение [15]: культурный ландшафт Хальштатт-Дахштайн — Залькаммергут (Австрия), Юлонг (Чонкинг) в Южном Китае, о-в Хендерсон (владение Великобритании в Тихом океане) и ПП Фон Нха-Ке Бэнг (Вьетнам). Развитие карста в пределах всех четырех плато происходит в условиях влажного климата: для Хальштатт-Дахштайн — Залькаммергут (Австрия) это умеренно влажный климат, для Юлонга — континентальный влажный, на о-ве Хендерсон — тропический влажный морской, а на территории ПП Фон Нха-Ке Бэнг — влажный субтропический муссонный климат. Мерзлота на всех рассматриваемых плато отсутствует вообще. Только в ПП «Наханни» (Канада) карстообразование осуществляется в схожих с ПП «Ленские Столбы» климатических условиях: здесь такой же холодный континентальный, хотя и не экстремально континентальный, климат. Но если на территории ПП «Наханни» (Канада) выпадает 400—600 мм осадков в год, то средняя годовая величина осадков в пределах ПП «Ленские Столбы» составляет всего 200—250 мм. К тому же в отличие от ПП «Ленские Столбы» ПП «Наханни» расположен в высокогорной области с абсолютными

**Расчет активности современного карстогенеза
на территории природного парка «Ленские Столбы»**

Активность современного карстогенеза, мм/1000 лет			
по методу М. Пулины	по методу Дж. Корбеля	по методу Ф. Гомберта	среднее значение
11.7	9.43	12.9	10.3

высотами до 2972 м — в горах Маккензи, где определяющую роль в развитии карста играет горное оледенение, а не мерзлота.

Таким образом, мерзлотный карст ПП «Ленские Столбы» является уникальным примером холодного карста на пластовых плато, сформированных на известняках и доломитах нижнего кембрия. Карст развивается в условиях сухого резко континентального климата в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород мощностью до 500 м. Карстовым процессом здесь охвачена вся мерзлотная толща. Выделяется поверхностный (связанный с надмерзлотными водами) и подземный (связанный с меж- и подмерзлотными водами) карст. Ярким подтверждением карстообразования служат классические поверхностные и подземные карстовые формы: многочисленные карстовые воронки, поноры, суходолы, карстовые озера, исчезающие реки, карстовые источники, карры, карстовые ниши, навесы, пещеры, провалы, карстовые останцы. Активность современного карстогенеза на территории природного парка «Ленские Столбы» оценивается в 10.3 мм/1000 лет.

Список литературы

- [1] Басков Е. А., Корнутова Е. И. Карстовые явления в южной Якутии // Материалы по геологии и геоморфологии Сибирской платформы. 1959. Нов. сер. Вып. 24. С. 143—160.
- [2] Геология Якутской АССР. М.: Недра, 1981. 300 с.
- [3] Коржуев С. С. Мерзлотный карст Среднего Приленья и некоторые особенности его проявления // Региональное карстоведение. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 207—220.
- [4] Коржуев С. С. Карст Якутии // Типы карста в СССР. М.: Наука, 1964. С. 67—72.
- [5] Коржуев С. С. Карст и многолетняя мерзлота // Советские исследования карста за 50 лет. М.: Изд-во МГУ, 1967. С. 54—60.
- [6] Основы геокриологии // Динамическая геокриология. Т. 4. М.: Изд-во МГУ, 2001. 688 с.
- [7] Пармузин Ю. П. Вопросы карстоведения Сибири // Изв. ВГО. 1954. Т. 86. Вып. 1. С. 34—49.
- [8] Спектор В. В., Толстихин О. Н. Ленские Столбы // Наука и техника в Якутии. 2004. № 1. С. 101—106.
- [9] Тимофеев Д. А., Дублянский В. Н., Кикнадзе Т. З. Терминология карста. М.: Наука, 1991. 260 с.
- [10] Трофимова Е. В. Карстовая денудация: обзор методов оценки // Геоморфология. 2004. № 1. С. 44—49.
- [11] Corbel J. Les karst du nord-ouest de l'Europe et de quelques régions de comparaison. Étude sur le rôle du climat dans l'érosion des calcaires. Revue Géogr. Lyon. Publ. hors série, 1957. 541 p.
- [12] Pulina V., Salomon J.-N. Les karst des régions climatiques extrêmes // Karstologia Mémoires. 2005. N 14. 220 p.
- [13] Spector V. B., Spector V. V. Karst processes and Phenomena in the Perennially Frozen Carbonate Rocks of the Middle Lena River Basin // Permafrost and periglacial processes. 2009. N 20. P. 71—78.
- [14] Trofimova E. V. Particularités du développement récent du karst calcaire de Sibérie et d'Extrême-Orient (Russie) // Karst and Cryokarst, Sosnowiec-Wroclaw, 2007. P. 203—209.
- [15] Williams P. World Heritage Caves and Karst. A Thematic Study. International Union for Conservation of Nature, 2008. N 2. 50 p.

Москва
e.trofimova1@gmail.com

Поступило в редакцию
5 апреля 2011 г.