

УДК 502.051

ТЕРМОКАРСТОВЫЕ ОЗЕРА РАЙОНОВ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ^{1,2}**Иванова Т.Н.**¹*ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень, e-mail: abola_81@mail.ru;*²*ФИЦ «Тюменский научный центр СО РАН», Тюмень*

Современное состояние ландшафтов криолитозоны является одним из индикаторов изменения климатических условий. Изменение наземного климата сказывается на состоянии почвогрунтов и может влиять на устойчивость сооружений, вызывая рост экономических и экологических ущербов. Изменение состояния многолетней мерзлоты должно в первую очередь сказаться на течении процессов термокарста, в частности на распространении термокарстовых озер, которые можно рассматривать как индикатор протаивания мерзлого грунта. Согласно исследованиям в северных регионах наблюдается уверенное увеличение количества термокарстовых озер различной формы. Число образовавшихся озер превышает число исчезнувших (хасырей). В зонах распространения мерзлоты данный процесс подтверждается многочисленными исследованиями на основе космических снимков. В настоящее время образование термокарстовых озер связывают с потеплением климата (увеличением среднегодовых температур широтных кругов). Многие озера Западной Сибири на протяжении тысячелетий естественным образом превращались в хасырей. В настоящее время данный процесс ускорился, особенно в районах прерывистого залегания многолетнемерзлых пород. Вероятной причиной исчезновения термокарстовых озер в прерывистой мерзлоте ученые считают почвенный дренаж, приводящий к спуску озера. В условиях потепления со временем увеличивается глубина протаивания мерзлых грунтов в теплые сезоны, что ускоряет термоэрозионный спуск воды из озер и приводит к сокращению площадей и исчезновению ряда озер. В данной работе даются ссылки на морфометрические параметры, температурный режим вод термокарстовых озер окрестностей Надымского стационара.

Ключевые слова: озера, озерные котловины, криолитозона, ландшафт, аласы, термокарст**THERMOKARST LAKES OF PERMAFROST AREAS**^{1,2}**Ivanova T.N.**¹*The University of Tyumen, Tyumen, e-mail: abola_81@mail.ru;*²*Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen*

The current state of Cryolithozones landscapes is one of the climate change indicators. The change in terrestrial climate affects the condition of soils and can affect the stability of structures causing economic and environmental damage. The change in the state of permafrost must primarily affect the flow of thermokarst processes, in particular, on the distribution of thermokarst lakes, which can be considered as an indicator of thawing of frozen ground. According to studies in the northern regions, there is a steady increase in the number of thermokarst lakes of different shapes. The number of formed lakes exceeds the number of disappeared ones (hasyreya). In the permafrost zones, this process is confirmed by numerous studies based on space images. At present, the formation of thermokarst water reservoirs is associated with a warming of the climate (an increase in the average annual temperatures of latitudinal circles). Many lakes of Western Siberia for millennia naturally turned into hasyreya. At present, this process has accelerated, especially in the areas of intermittent occurrence of permafrost. The most probable cause of disappearance of thermokarst lakes in intermittent frost is the scientists consider soil drainage leading to the descent of the lake. In the conditions of warming with time, the depth of thawing of frozen soils in warm seasons increases, which accelerates the thermo erosion drain of water from lakes and leads to a reduction in areas and the disappearance of a number of lakes. In this paper, we give references to the morphometric parameters, the temperature regime of the waters of thermokarst lakes in the vicinity of Nadym providing ground.

Keywords: lakes, lake basin, cryolithozone, landscape, alas, thermokarst

Природные условия во многом определяют направление процессов формирования ландшафтов любой территории. Суровые условия с низкими температурами окружающей среды определяют формирование мерзлых грунтов. Данные территории отличаются особенностями течения физико-химических процессов и во многом зависят от вариаций абиотических факторов.

Многолетнемерзлые горные породы широко распространены на Земле и встречаются почти на всех континентах. Установлено, что глобальное изменение климата более ощутимо проявляется в высоких ши-

ротах. Наиболее чувствительными к температурным изменениям оказались субарктические ландшафты.

Состояние ландшафтов криолитозоны можно считать одним из индикаторов современного изменения климата. Изменение наземного климата определяет изменения в характеристиках почвогрунтов, что определяет устойчивость инфраструктуры и вызывает рост разного типа ущербов. Нестабильность состояния многолетней мерзлоты должна в первую очередь сказаться на распространении термокарстовых озер, сигнализирующих о протаивании мерзлого грунта.

Материалы и методы исследования

Исследования последних лет показывают резкие изменения количественного состава термокарстовых озер. Отмечается исчезновение крупных озер и увеличение суммарных площадей термокарстовых озер в озерно-болотных комплексах [1, 2]. Высокольдистость многолетнемерзлых пород и равнинный характер территории Западной Сибири способствуют развитию процессов термокарста. Скорость образования озер составляет здесь десятки лет. На месте осушенных озер часто формируются хасыреи (аласы).

В данной работе в качестве объектов исследования приняты термокарстовые озера и хасыреи, являющиеся показательными индикаторами климатических изменений. В качестве ключевого участка был определен полигон Надымского стационара (Надымский район ЯНАО), как зона контакта разных геоморфологических уровней, обуславливающая разнородность ландшафтных условий [3].

На территории проводились прямые маршрутные наблюдения за проявлением криогенных экзогенных процессов.

Для проведения исследования были выбраны наиболее репрезентативные озера данного района, разнообразные по своим характеристикам и местоположению: старица Надым, Лесное, Голубое, Окунево, Моховое, Пинго, Пинго-2, Кедровое.

Исследуемые озера, согласно схеме ландшафтного районирования ЯНАО [4], расположены в Надымской северотаежной ландшафтной провинции Обь-Тазовской подобласти Урало-Енисейской северотаежной области.

Провинция приурочена к Надымской низменности с плоским рельефом низкого уровня, сильной заболоченностью и заозеренностью. Примечательностью провинции является распространение массивов незакрепленных развеваемых песков, а также фрагментов незаторфованных суглинистых холмисто-увалистых равнин (ледникового генезиса) на междуречьях.

Далее, для определения более точных мерзлотных условий имеет смысл идентификация расположения исследуемых озер в ландшафтной структуре Надымской провинции.

Озера старица Надым, Голубое, Лесное, Кедровое и Моховое (согласно их геоморфологическому уровню, ниже 20 м) приурочены к Средненадымскому долинному ландшафтному району, включающему до-

лину нижнего течения р. Танлова и долину р. Надым. Озера Окунево, Пинго и Пинго-2 расположены в пределах Верхненадымского ландшафтного района, который занимает западную часть Надым-Левохеттинского междуречья, на северо-востоке включает нижнее течение р. Хейгияха, на западе включает долины р. Хетта в ее среднем течении.

По циклам развития котловины озера дифференцированы следующим образом: озеро старица Надым относится к долинному циклу развития геосистем; озера Лесное, Голубое, Кедровое и Моховое – к долинно-придолинному циклу развития; озера Пинго, Пинго-2 и Окунево – к циклам развития геосистем современного гидроморфизма.

Поверхность Средненадымского долинного ландшафтного района формируют поймы, низкие плоские, реже пологоволнистые с дюнами (в придолинных частях) надпойменные террасы и озерно-аллювиальные равнины с относительными превышениями 20–30 м. В разрезах доминируют пески, фрагментарно распространены супеси и опесчаненные суглинки (в разрезах озерно-аллювиальной равнины).

Широко развиты болотные образования. Торфяники занимают большую часть поверхности террас, в пойме их площадь не превышает 30%. Мощность торфяников обычно не превышает 1,5–2,0 м. Средняя температура января –24–24,5 °С, июля 14,2–14,5 °С. За год выпадает 420–450 мм осадков, причем основная их часть летом в виде длительных морозящих дождей. Снежный покров держится около 200 дней, достигая мощности 50–60 см. За период с температурой выше 10 °С с 18–21 июня по 24–26 августа (65–68 дней) накапливается 800–950 ° вегетационных температур.

В ландшафтной структуре доминируют плоскостные террасовые местности с сосново-кедровыми и сосново-лиственничными лишайниковыми лесами на языковатых подзолах и сосново-кедрово-еловыми травяными лесами на иллювиально-гумусовых подзолах. На обширных пространствах заторфованных междуречий обычны сочетания крупнобугристых и плоскобугристых мерзлых торфяников. Реже встречаются кочковатые мерзлые кустарничково-лишайниково-моховые болота в сочетании с бугристыми торфяниками и грядово-мочажинными болотами.

Для поймы реки Надым и ее притоков характерны лугово-болотно-лесные ландшафты с сочетанием разнотравно-злаковых,

арктофиловых и осоковых лугов, низинных болот и прирусловых ивняков.

Котловина озера-старицы Надым расположена в пойменно-соровом типе местности, приуроченном к месту слияния пойм р. Надым и Хейгияха. Урез воды озера отмечен на высоте 15,1 м, в то время как на данном уровне урез воды р. Хейгияха составляет 14,3–15,4 м, р. Надым – 12,9–13 м. Однако важным фактором здесь выступает крайне неровный рельеф самой поймы реки Надым, где отмечаются перепады высот от 12,9 м до 15–16 м, а порой и до 19 м за счет аккумулятивных отложений, формирующих гряды и перекаты.

Приуроченность котловины озера к доливному циклу развития геосистем говорит о прямой связи его с процессами, протекающими в пойме и долине рек Надым и Хейгияха. Водный режим озера в настоящее время напрямую зависит от режима этих рек, уровень 15–16 м – это затопляемые части поймы в период паводков и половодья (здесь подъем может быть и выше).

Этот уровень пестрит озерами-протоками, сорами и старицами. Но все они имеют вытянутую сглаженную форму, повторяющую древние и современные меандры реки, в то время как котловина озера-старицы Надым имеет неправильную форму, рваные берега. Все это может свидетельствовать о ледниковом факторе генезиса его котловины. Расположенный в непосредственной близости песчаный раздув может быть следствием таяния ледника и иметь ледниковое происхождение.

Для направления эволюции котловины данного озера в настоящий момент решающим фактором является именно его водный режим и пойменное расположение. Общее направление эволюции – это трансформация в старичное озеро со сглаживанием его берегов и заболачиванием.

Озера Голубое и Лесное (с отметками абсолютных высот около 20 м) имеют округлую форму, довольно большую глубину (6–8 м). Вода прозрачная, прозрачность до 1,5 м. Дно песчаное, у берегов дно заиленное. Данные озера приурочены к геоморфологическому уровню первой надпойменной террасы р. Надым – плоскоместно-террасовому типу местности. Непосредственно озерные котловины представляют собой реликтовый термокарстовый тип местности (аласный озерный).

В тайге в районах залегания многолетнемерзлых пород в результате вытаивания подземных льдов, сопровождающегося

просадкой грунта (термокарст и суффозия) часто возникают плоские округлые понижения с многочисленными озерами, покрытые луговой и лесо-луговой растительностью – аласы. Особенно широко они распространены в равнинной части Якутии, в пределах бассейна средней Лены, Лено-Амгинского междуречья, бассейна Нижнего Вилюя.

В этом районе наиболее изучены их стадии развития и эволюция. Центральная часть аласа занята обычно озером, вокруг которого поясами развита болотная, луговая и остепненная растительность и соответствующие им почвы [5, с. 48]. Их развитие зависит от наличия подземных льдов. В дальнейшем они превращаются в сухие или с остаточным озерком котловины, с характерным набором фаций.

Эволюция и формирование почв аласов Якутии происходит по законам долговременной вторичной сукцессии, которая начинается с формирования озера на месте зональной таежной экосистемы. На этой стадии происходит накопление донных осадков и их карбонатизация. Сразу после выхода из-под воды, на первой стадии развития аласных почв – стадии мерзлотной аласной торфянисто-глеевой почвы – активно протекают процессы торфонакопления и оглеения. На этой стадии отмечается низкий уровень микробимассы и минимальный уровень базального дыхания. На второй стадии развития почв аласов болотные экосистемы сменяются луговыми, в которых, благодаря оптимальному соотношению тепла и влаги, отмечается высокая продуктивность и активизируются процессы гумусонакопления. На этой стадии эволюции (мерзлотная аласная черноземно-луговая почва), слои увеличиваются в 2,8 раза, а базальное дыхание в 2,1 раза по сравнению со стадией болотных почв. Третья стадия эволюции почв – остепненная стадия – является результатом крайнего иссушения деятельного слоя и динамики рельефа. На этой стадии активизируется солонцовый процесс и процесс гумусонакопления [6, с. 122].

В отличие от своих якутских собратьев, аласы Западной Сибири менее изучены, но как минимум являются более молодыми и расположены в зоне избыточного увлажнения, что непосредственным образом вносит свои коррективы в их черты.

Результаты исследования и их обсуждение

На исследуемой территории наблюдается целый ряд термокарстовых форм, в том числе и аласов, на разных стадиях развития.

Ввиду отсутствия детальных исследований аласов в Западной Сибири сложно однозначно определить их стадию развития, однако можно выстроить примерный ход развития термокарстовых котловин по косвенным признакам.

Деградация многолетнемерзлых пород данной территории началась вследствие отепляющего воздействия вод рек Надым и Хейгияха первоначально в долинах этих рек, далее распространившись на террасы. Район озер Мохового и Кедрового явный пример развития и деградации многолетнемерзлых пород. Термокарстовый процесс начал свое развитие как просадка грунтов (возможно, и с образованием озер типа Мохового), но далее при формировании стока с территории их котловины (или просадочные формы рельефа) стали сливаться и заболачиваться. Песчаные и супесчаные грунты при частичной деградации многолетнемерзлых пород имеют сток.

Таким же образом сформировались котловины озер Лесное, Голубое и Кедровое. Но наличие до сих пор в них водного зеркала внушительных размеров и значительных глубин (до 6–8 м) говорят о том, что многолетнемерзлые породы здесь еще присутствуют.

Питание озер зависит от осадков и многолетнемерзлых пород. Дальнейшая эволюция котловин озер зависит от процессов деградации многолетнемерзлых пород: по мере уменьшения объемов поступления талых вод, при избыточном типе увлажнения начнется процесс эфтрофикации водоемов, интенсивное осадконакопление и в конечном итоге котловины станут очередными очагами заболачивания.

Озеро Голубое расположено на склоновых поверхностях к пойме р. Надым, поэтому существует вероятность формирования стока (через систему овражно-балочной сети), что приведет к образованию хасыря. Озеро Кедровое (рисунок), с абсолютными отметками высот около 25 м расположено в пределах второй надпойменной террасы р. Надым в пределах террасового плоскоместного типа местности.

Котловина озера представляет собой типичный аласный озерный ландшафт, в котором дифференцируются четыре концентрических элемента: окраинные части с мезотрофными болотами, облесенными угнетенной сосной; низинные плоские сфагново-осоковые болота; торфяной сфагново-кустарничковый вал, высотой 0,6–0,8 м с андромедой, карликовой березой,

моршкой и плоское днище древней озерной котловины с низинным сплавинным болотом. Процесс эфтрофикации оз. Кедрового свидетельствует о вступлении озера также на конечную стадию развития аласов.



Озеро Кедровое

Котловина оз. Мохового, расположенно южнее оз. Кедрового, также в пределах плоскоместного террасового типа местности, представляет собой заболоченную по низинному типу низину, с остатками водного зеркала и средней глубиной до 1,5 м. Размеры котловины составляют 120 м по длине и до 70 м в самой широкой части.

Таким образом котловина озера Мохового, имея первоначально термокарстовое происхождение, в настоящее время представляет собой конечную стадию развития аласного озера и является очагом заболачивания.

Следующая группа озер – Окуневое, Пинго и Пинго-2, согласно их геоморфологическому уровню и местоположению на водоразделе, приурочены к Верхненадымскому ландшафтному району. Распространение многолетнемерзлых пород в данном районе имеет более широкое, особенно в обширных торфяниках и заболоченных террасах рек, однако температура многолетнемерзлых пород уже выше, что существенно увеличивает риск их освоения.

Озера Окуневое, Пинго и Пинго-2 расположены на водораздельных пространствах рек Надым, Хейгияха и Левая Хета на уровне абсолютных высот 32–33 м. Тип местности мелкобугристых и мелкогрядовых олиготрофных болот, входящий в цикл развития геосистем современного гидроморфизма. Это молодые активно развивающиеся болотные системы, с маломощными торфами и слабо развитой системой гряд.

Многолетнемерзлые породы, вероятнее всего, являются здесь водоупором, внутриболотный сток также слабо развит, что и привело к формированию данной группы озер.

Озёра неправильной формы (врезы в берега), мелкие по глубине (до 1,5–2 м); расположены на водоразделе среди верховых торфяников, подболоченных сосняков багульниковых. Вода мутная от взвесей торфа и полуразложившихся растительных остатков. Озёра небольшие по площади, сильно заросшие растительностью, при этом центральные участки акватории свободны от неё. Встречаются отмели в небольшом удалении (2–5 м) от берегов.

Заключение

Аласные котловины в естественных нарушенных условиях обычно расположены в приболотной части лесных массивов. Однако с началом антропогенной деятельности (прокладка трубопроводов, коммуникаций, нарушение стока, вырубка леса и т.д.) произошла активизация термокарстовых процессов территории, о чем свидетельствует появление молодых аласных котловин в исследуемом районе. При своем формировании они тяготеют к трассам трубопроводов и коммуникаций. Здесь происходит активная фаза деградации многолетнемерзлых пород, что обуславливает повышенный риск для строительства и уже существующих объектов.

Список литературы / References

1. Шаронов Д.С., Брыксина Н.А., Полищук В.Ю., Полищук Ю.М. Сравнительный анализ динамики термокарста на территории мерзлоты Западной Сибири и Горного Алтая на основе космических снимков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 313–319.
Sharonov D.S., Briksena N.A., Polishchuk V.Yu., Polishchuk Yu.M. Comparative analysis of thermokarstdynamics in permafrost territory of Western Siberia and Gorny Altai on the basis of space images // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemly iz kosmosa*. 2012. V. 9. № 1. P. 313–319 (in Russian).
2. Брыксина Н.А., Полищук Ю.М. Анализ изменения численности термокарстовых озер в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири на основе космических снимков // Криосфера Земли. 2015. Т. 19. № 2. С. 114–120.
Briksena N.A., Polishchuk Yu.M. Analysis of changes in the number of thermokarst lakes in permafrost of West Siberia on the basis of satellite images // *Kriosfera Zemli*. 2015. V. 19. № 2. P. 114–120 (in Russian).
3. Орехов П.Т., Аквальные природные комплексы северной тайги Западной Сибири // Криосфера Земли. 2010. Т. 14. № 2. С. 23–28.
Orekhov P.T. Aquatic natural complexes of northern taiga, West Siberia // *Kriosfera Zemli*. 2010. V. 14. № 2. P. 23–28 (in Russian).
4. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004. 154 с.
Atlas Yamalo-Nenetskiy avtonomnogo okruga. Omsk: FGUP «Omskaya kartograficheskaya fabrika», 2004. 154 p. (in Russian).
5. Пучнин А.Н., Якутин М.В. Экологический мониторинг аласных экосистем с использованием методов дистанционного зондирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2009. Т. 4. № 2. С. 48–53.
Puchnin A.N., Yakutin M.V. Ecological monitoring of alas ecosystems with use of remote sounding methods // *Interakspo Geo-Sibir*. 2009. V. 4. № 2. P. 48–53 (in Russian).
6. Якутин М.В., Пучнин А.Н. Почвенно-микробиологические методы в мониторинге аласных экосистем Лено-Вилуйского междуречья // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2008. Т. 3. № 2. С. 119–124.
Yakutin M.V., Puchnin A.N. Methods of soil microbiology in monitoring of alas ecosystems on region between Lena and Vilui rivers // *Interakspo Geo-Sibir*. 2008. V. 3. № 2. P. 119–124 (in Russian).