doi:10.24412/2687-1092-2021-8-228-234

МОНИТОРИНГ ОВРАЖНОЙ ТЕРМОЭРОЗИИ НА СЕВЕРЕ ЯКУТИИ

Тарбеева А.М.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, amtarbeeva@yandex.ru

В 2019 г. в дельтовом районе р. Лены и в окрестностях пос. Тикси начаты наблюдения за динамикой 15 малых термоэрозионных форм. Ключевые участки исследования расположены в естественных и антропогенно измененных ландшафтах с разнообразными геолого-геоморфологическими и геокриологическими условиями, определяющими различные темпы динамики термоэрозионных форм. Наибольший рост вершин оврагов – до 14 м за сезон, наблюдается в отложениях ледового комплекса, что подтверждается высокими значениями мутности водотоков. Предварительный анализ метеорологических условий за годы наблюдений подтверждает, что в образовании рытвин и динамике оврагов в высокольдистых отложениях играют роль не только осадки, но и температурные условия.

Ключевые слова: *термоэрозия, овраги, рытвины, многолетняя мерзлота, климатические изменения, Арктика, Якутия*

Введение

Термоэрозия, наряду с термокарстом, является одним из основных процессов разрушения многолетнемерзлых пород. Под ней понимается эрозия льдосодержащих отложений под одновременным механическим и тепловым воздействием водного потока [*Термоэрозия…, 1982; Multi-language glossary…, 2005*]. Термоэрозия приводит к изменению рельефа, стока воды и наносов, представляет угрозу инженерным сооружениям. Несколько десятилетий назад овражная термоэрозия была ограниченно развита в естественных условиях тундры [*Эрозионные процессы…, 1999*], но в последние десятилетия получает всё большее распространение [*Bowden, Gooseff et al., 2008; Gooseff, Balser et al., 2009; Godin et al., 2014*]. Это позволяет предположить связь активизации термоэрозии с изменениями климата и определяет актуальность проведения ее мониторинга. Для выявления факторов, темпов, закономерностей распространения, возникновения и развития современной овражной термоэрозии, в 2019 году были начаты наблюдения за динамикой термоэрозионных форм на арктическом побережье Якутии в устьевом районе р. Лены.

По данным метеостанции о. Столб (1956-2020 гг.), среднегодовая температура воздуха на исследуемой территории составляет минус 12.4°С и имеет тенденцию к повышению со скоростью 0,8°С за 10 лет [*Горохов, Фёдоров, 2018*]. Среднегодовой слой осадков составляет 227 мм, около половины из них выпадает в виде снега. Ливневые осадки с интенсивностью более 20 мм/сут. наблюдаются в среднем 1 раз в 4-6 лет. Температура многолетнемерзлых пород с 1998 по 2002 гг. повысилась с -7,7 до -9.1°С [*Boike, Nitzbon et al., 2019*]. Глубина сезонного протаивания составляла 41-57 см, при этом отмечалось проседание поверхности рельефа за счет вытаивания внутригрунтового льда со скоростью до 4 см в год.

Объекты и методы исследований

Наблюдения за динамикой термоэрозионных форм и их факторами организованы на трех ключевых участках в районе НИС «Остров Самойловский» в дельте р. Лены (Рис. 1). Выбранные ключевые участки различаются по геолого-геоморфологическим и геокриологическим условиям.

Участок «Хабарово» расположен в материковой части суши в вершине дельты р. Лены и охватывает пологие склоны отрогов Хараулахского хребта. Вершинные части сопок с абс. отм. до 171 м., сложены грубообломочным элювием палеозойских алевролитов, на склонах переходящие в щебнисто-суглинистые отложения со структурным микрорельефом. Средние и нижние части склонов, имеют крутизну 3-7 градусов и покрыты толщей легких пылеватых суглинков мощностью до 5 м, пронизанной полигонально-жильными льдами шириной до 1-2 м. Деятельный слой сильнольдистый (весовая влажность достигает 400%). Верхние 10 см представлены торфом и мхом. Овраги развиты в истоках малых рек и ручьев, а термоэрозонные рытвины образуются в нижних частях склонов долин.

Рис. 1. Расположение ключевых участков в районе дельты р. Лены

Участок «Тикси» расположен в 115 км к юго-востоку от дельты Лены на побережье моря Лаптевых. Здесь исследуется овраг, образованный у подножья северного склона г. Лялькина на абс. отм. 20-40 м с уклонами до 10 градусов. В нижней части склона горы к ней примыкает пологонаклонная поверхность, сложенная алевритистыми суглинками мощностью до 4-4,5 м, с мощными (до 2-3 м шириной) полигонально-жильными льдами, залегающими на обломочных склоновых отложениях. Предположительно, эта поверхность является прислоненной частью ледового комплекса.

Участок «Курунгнах» расположен на одноименном острове в дельте р. Лены - останце т.н. третьей террасы, с абс. отм. 40-60 м, сложенном пылеватыми отложениями ледового комплекса, пронизанными мощными (глубина до 15 м, ширина 5-10 м) ледовыми жилами и залегающими на раннеплейстоценовых аллювиальных песках [*Григорьев, 1993; Schwamborn et al., 2002*]. Здесь исследуются активно развивающиеся овраги на уступе террасы, подмываемом Оленекской протокой р. Лены.

Участки «Курунгнах» и «Хабарово» расположены в пределах Усть-Ленского государственного заповедника и защищены от антропогенного воздействия на протяжении последних 35 лет. Исследуемый овраг в районе пос. Тикси – единственный, образовавшийся на участке, подверженном антропогенному воздействию: в 50 м выше оврага проходит региональный зимник «Тикси-Найба».

На участке «Хабарово» наблюдения начаты в 2019 г., на участке «Тикси» - в 2020 г., на участке «Курунгнах» – в 2021 г. Первые наблюдения в 2019 г. были проведены при помощи тахеометрической съемки или измерений расстояний до бровки рулеткой от временных реперов. В 2020 и 2021 годах наблюдения проводились при помощи съемки с квадрокоптера DJI Mavic mini с последующей плановой привязкой снимков к существующей реперной сети. Повторные снимки позволяют более детально видеть механизмы динамики эрозионных форм.

В 2021 году наблюдения проведены дважды: в середине июля после снеготаяния и начале сентября после летних паводков, что позволило отследить внутригодовую динамику. По данным метеостанции О. Столб, максимальная суточная сумма дождевых осадков в 2021 г. наблюдалась 27 августа и составила 19 мм, что встречается в среднем раз в 5 лет. Всего наблюдениями охвачены 15 эрозионных форм, на 6 из них уже есть повторные наблюдения за динамикой (таблица).

Табл. Список наблюдаемых термоэрозионных форм и время проведения измерений

№	Название	Координаты, с.ш. в.д. WGS 1984	Август 2019	Сентябрь 2020	Июль 2021	Сентябрь 2021
Ключевой участок «Хабарово»						
1.	Метеорологический овраг	72°23'40" 126°49'10"	+	+	+	
2.	Левый Метеорологический овраг	72°23'46" 126°49'00"	+	+	+	
3.	Нескучный	72°23'22" 126°49'52"	+	+		
4.	Рытвина №1	72°23'32" 126°51'27"		+	+	+
5.	Рытвина №2	72°23'49" 126°51'05"				+
6.	Рытвина Арбузная	72°23'58" 126°49'04"				+
Ключевой участок «Курунгнах»						
7.	Овраг №2 левый	72°20'02" 126°16'40"				+
8.	Овраг №2 правый	72°19'54" 126°16'40"				+
9.	Овраг №3	72°19'18" 126°15'44"			+	
10.	Овраг №4	72°19'39" 126°16'15"			+	+
11.	Активный Левый	72°22'27" 126°14'18"				+
12.	Активный Правый	72°22'18" 126°14'24"				+
13.	Рытвина Левая	72°19'43" 126°02'28"			+	
14.	Рытвина Правая	72°19'44" 126°02'03"			+	
Ключевой участок «Тикси»						
15.	Овраг в Тикси	71°37'54" 128°52'43"			+	+

Исследованные эрозионные формы относятся к двум типам: овраги и рытвины [*Тимофеев, 1981*]. Рытвины – недавно образовавшиеся небольшие формы (менее 1-1,5 м глубиной), которые быстро возникают, но могут быть быстро занесены наносами, а могут развиться в овраг. Овраги – более крупные и стабильные формы, их глубина превышает 1,5 м, как правило, они древнее рытвин.

Помимо динамики эрозионных форм, проводились также измерения уровней и температуры воды при помощи самописцев, проводился отбор проб на определение содержания взвешенных наносов весовым методом. Набор этих данных совместно с опубликованными данными о температуре воздуха, осадках, мощности деятельного слоя и температуре многолетнемерзлых пород позволяют выявить основные факторы и условия появления и активизации эрозионных форм.

Предварительные результаты

Разная продолжительность и короткий период наблюдений за динамикой оврагов пока не позволяют сделать статистически значимых количественных оценок динамики, но позволяют установить качественные различия и выявить некоторые закономерности и механизмы развития оврагов и рытвин и влияющие на них факторы.

Сравнение положения бровок оврагов показывают, что наиболее существенная динамика наблюдается на оврагах о. Курунгнах, а также на овраге Тикси.

Овраги на о. Курунгнах испытывают интенсивный рост, связанный как с постоянным размывом их устьев водами р. Лены, так и с их формированием в очень высокольдистых отложениях с включением мощных ледяных жил. При этом овраги Активный Левый и Активный Правый расположены вдали от русла Лены, но также имеют следы активного роста. Для вершин и средних частей оврагов характерно образование тоннелей по льду и последующим обрушением кровли. Пока повторные наблюдения имеются лишь на Овраге №4, но анализ космических снимков показывает асинхронную активность соседних оврагов. С июля по сентябрь 2021 г. вершина оврага №4 на о. Курунгнах продвинулась вверх на 14 м, при этом боковые стенки оврага отступили на 10 м за счет сползания активного слоя, т.е. процессов, сопутствующих термоэрозии (рис. 2). Следует отметить, что криогенным оползням были больше подвержены склоны южной экспозиции.

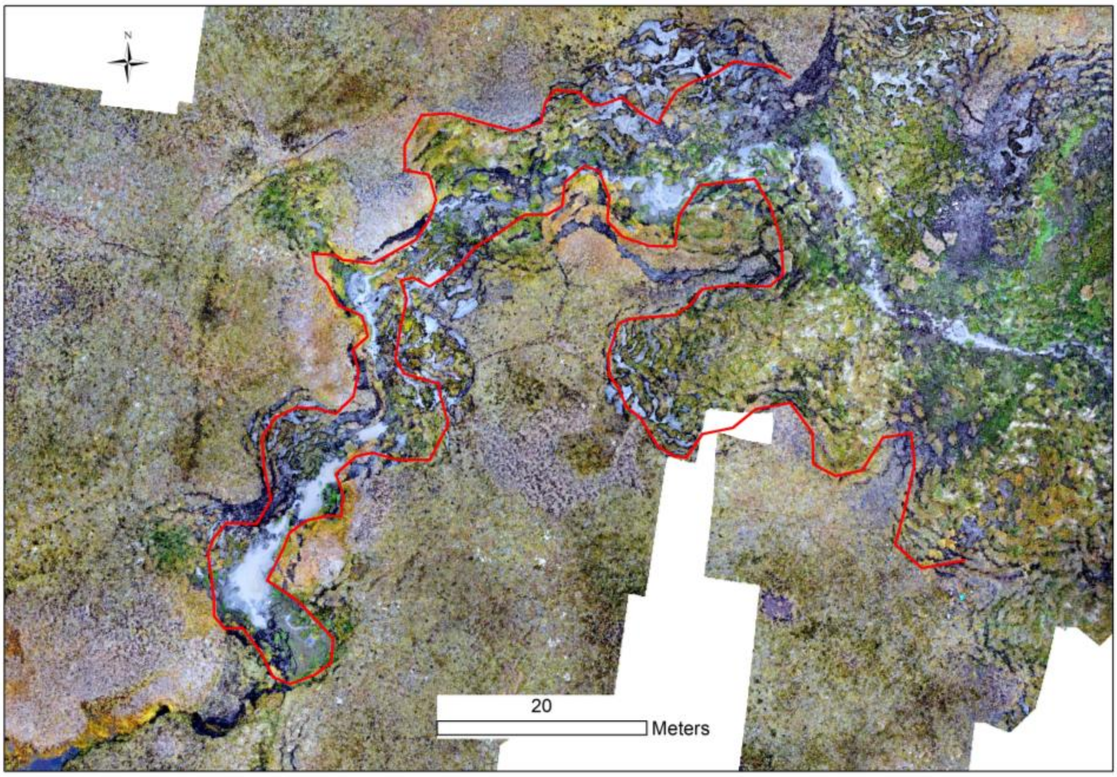

Рис. 2. Динамика Оврага №4 на о. Курунгнах за летний период 2021 г.: снимок с квадрокоптера (ортофотоплан) сделан 7 сентября 2021 г, красная линия показывает положение бровки оврага 13 июля 2021 г.

Овраг вблизи пос. Тикси возник в начале августа 2020 г. Лето 2020 года отличалось умеренной интенсивностью осадков, но было аномально теплым. Образованию оврага способствовала концентрация стока воды по колеям зимника, пересекающего склон в 50 м выше вершины оврага. Зимник существует уже несколько десятков лет, но местные жители не помнят случаев возникновения эрозионных форм прежде. Рост исследуемого оврага происходил очень быстро, так как в его бортах обнажались мощные ледяные жилы: к 2021 году его длина составила 50,5 м, а глубина – около 4 м. Глубинный рост оврага лимитируется близким залеганием коренных пород. За два летних месяца 2021 г. вершина оврага Тикси продвинулась вверх на 5,6 м, вершина его левого отвершка – на 3,8 м. Ширина оврага выросла с 11 до 14 м (рис. 3). Глубина оврага несколько уменьшилась за счет его заполнения наносами.

Овраги на участке «Хабарово» наиболее стабильны. Максимальные значения отступания бровок составили 1,6 м в год на Метеорологическом овраге (2019-2020 гг.). Для склонов большинства оврагов характерно медленное сползание блоков, в т.ч. под действием нивации. В середине июля 2021 г. снежники сохранялись в оврагах ориентированных на восток (овраги Левый Метеорологический, Нескучный). При этом снег содержит большое количество песчаных и пылеватых частиц эолового происхождения, которые, по мере таяния снега, проецируются на поверхность почвы, составляя приходную часть баланса наносов. После паводка в конце августа 2021 г., бровки оврагов на участке «Хабарово» не испытали значительных изменений. Однако в результате паводка наблюдалось обрушение берегов и аккумуляция наносов на пойме ручья Метеорологического, на бортах которого развиты исследуемые овраги. Также в 2021 г. на участке «Хабарово» возникли две новые эрозионные формы: рытвины Арбузная и Рытвина №2, заложившиеся вдоль ледяных жил.

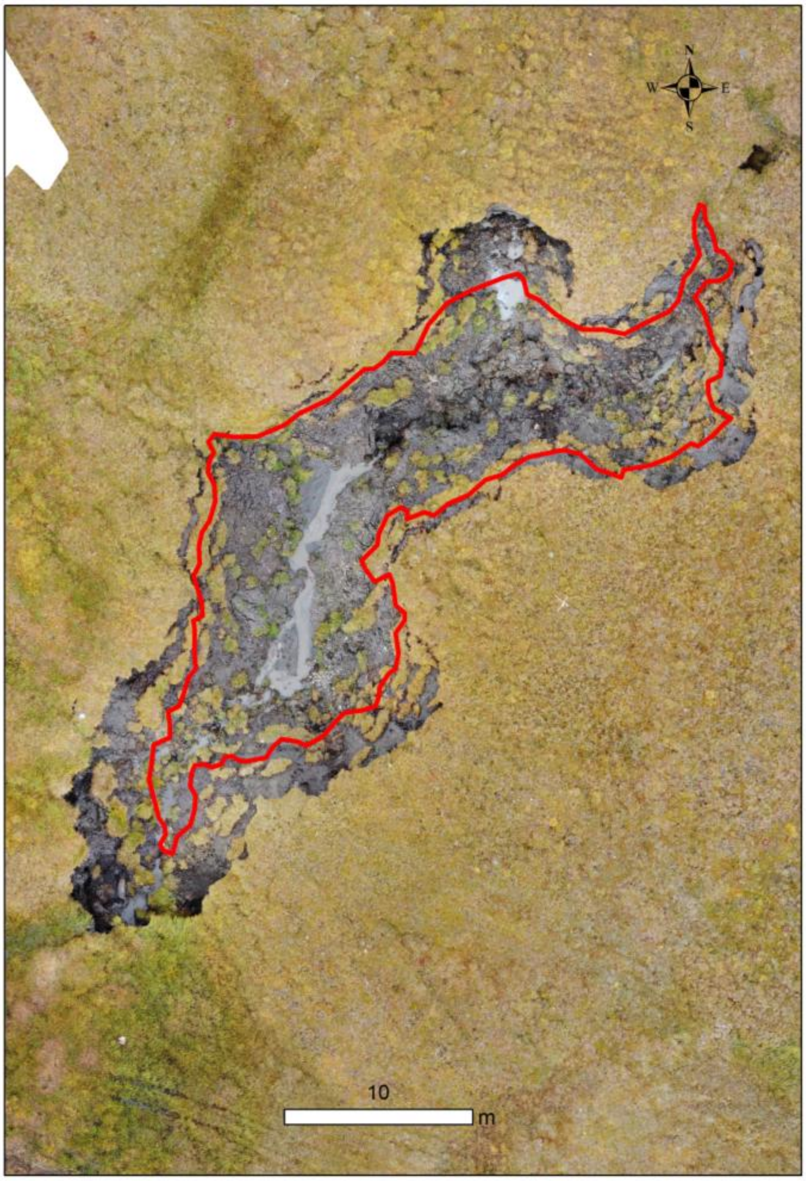

Рис. 3. Динамика оврага Тикси за летний период: снимок с квадрокоптера (ортофотоплан) сделан 3 сентября 2021 г., красная линия показывает положение бровки оврага 18 июля 2021 г.

Интенсивность динамики оврагов хорошо соотносится с данными о концентрации взвешенных наносов в овражных водотоках. Максимальные значения мутности (550-670 мг/л) наблюдались в оврагах участков «Курунгнах» и «Тикси». Они были на два порядка выше, чем мутность в оврагах и рытвинах участка Хабарово (1-5 мг/л).

Выводы

Наблюдения показали сложный разнонаправленный характер развития эрозионных процессов на схожих по климатическим условиям, но разных по геолого-геоморфологическим и геокриологическим условиям участках, так и на соседних оврагах и на смежных звеньях эрозионной сети. В целом, наибольшие темпы развития имеют овраги, сформированные в высокольдистых отложениях ледового комплекса.

В динамике бровок оврага участвуют как собственно процессы термоэрозии, так и оползневые процессы, связанные с нивацией или сползанием деятельного слоя, имеющие свои закономерности развития и определяющие факторы. По всей видимости, на активность оврагов влияют не только паводочные события, но и температура воздуха и глубина протаивания, определяющие как развитие оползневых процессов и субаэральное вытаивание обнаженного льда, так температуру склоновых вод и возможность их проникновения в толщу льдосодержащих отложений для образования тоннелей во льду.

Продолжение ряда наблюдений, а также детальная обработка полученных данных, их сравнение с данными динамики сезонно-талого слоя, температурой воздуха и осадками помогут уточнить полученные выводы.

Благодарности

Полевые работы выполнены в рамках экспедиции «Лена-2021» при поддержке РФФИ проект № 20-05-00840. Методические работы выполнены в рамках ГЗ № 121051100166-4 Географический факультет МГУ.

The fieldwork carried out as part of the «Lena-2021» Expedition was supported by the RFBR: project No. 20-05-00840. The methodological studies were carried out within the framework of State Task No. 121051100166-4 Moscow State University.

ЛИТЕРАТУРА

Горохов А.Н., Фёдоров А.Н. Современные тенденции изменения климата в Якутии // География и природные ресурсы. 2018. № 2. С. 111–119. doi:10.21782/Gipr0206-1619-2018-2(111-119)

Григорьев М.Н. Криоморфогенез устьевой области долины р. Лены. Якутск: ИМЗ СО РАН. 1993. 176 с.

Термоэрозия дисперсных пород. М.: Изд-во МГУ. 1982. 194 с.

Тимофеев Д.А. Терминология флювиальной геоморфологии. М.: Наука. 1981. 268 с.

Эрозионные процессы Центрального Ямала. Под ред. А.Ю. Сидорчука, А.В. Баранова. СПб: РНИИ культурного и природного наследия. 1999. 350 с.

Boike J., Nitzbon J., Anders K., Grigoriev M., Bolshiyanov D., Langer M., Lange S., Bornemann N., Morgenstern A., Schreiber P., Wille C., Chadburn S., Gouttevin I., Kutzbach L. A 16-year record (2002–2017) of permafrost, active layer, and meteorological conditions at the Samoylov Island Arctic permafrost research site, Lena River Delta, northern Siberia: an opportunity to validate remote sensing data and land surface, snow, and permafrost models // Earth System Science Data. 2019. Vol. 11. P. 261–299. doi:10.5194/essd-11-261-2019

Bowden W.B., Gooseff M.N., Balser A., Green A., Peterson B. J., Bradford J. Sediment and nutrient delivery from thermokarst features in the foothills of the North Slope, Alaska: Potential impacts on headwater stream ecosystems // Journal of Geophysical Research. 2008. Vol. 113. G02026. doi:10.1029/2007JG000470.

Godin E., Fortier D., Coulombe S. Effects of thermo-erosion gullying on hydrologic flow networks, discharge and soil loss // Environmental Research Letters. 2014. Vol. 9. 105010 (10 pp.) doi:10.1088/1748-9326/9/10/105010.

Gooseff M.N., Balser A., Bowden W.B., Jones J.B. Effects of hillslope thermokarst in northern Alaska // Eos. AGU. 2009. Vol. 90. N 4. P. 29–30. doi: 10.1029/2009EO040001

Multi-language glossary of permafrost and related ground-ice terms. Ed. by van Everdingen R.O. International Permafrost Association; 1998 (revised 2005).

Schwamborn G., Rachold V., Grigoriev M.N. Late Quaternary sedimentation history of the Lena Delta // Quaternary International. 2002. Vol. 98. P. 119-134. doi: 10.1016/S1040-6182(01)00084-2

MONITORING OF GULLY THERMAL EROSION IN THE NORTH OF YAKUTIA

Tarbeeva A.M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, amtarbeeva@yandex.ru

In 2019, observations of the dynamics of 15 thermoerosional forms were started in the Lena Delta region and Tiksi area. The key sites of research are natural and disturbed landscapes with different geomorphology, permafrost and lithology, which determine different rates of dynamics of thermoerosional forms. The greatest rates of the retreat of gully heads - up to 14 m per season, was observed in the ice complex deposits, which is also confirmed by high turbidity values of watercourses. A preliminary analysis of meteorological conditions over the years of observations confirmed that not only precipitation, but also temperature conditions play a role in the formation of rills and the dynamics of gullies in ice-rich permafrost.

Keywords: *thermal erosion, gullies, rills, permafrost, climate change, Arctic, Yakutia*