

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.04(571.1)

ВОСКРЕСЕНСКИЙ К. С., ЗЕМЧИХИН В. Е.

ТЕРМОЭРОЗИЯ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Интенсивное хозяйственное освоение северных районов Западной Сибири требует изучения и прогнозирования опасных природных явлений, что приобретает особую значимость ввиду специфических инженерно-геологических условий, обусловленных сложной историей развития территории.

Рельеф северных районов Западной Сибири сформировался в условиях дифференцированных опусканий герцинского фундамента в мезозое и кайнозое и накопления мощных толщ (сотни метров) рыхлых отложений. Здесь выделяются [1] Североямальская, Гыданская, Пусская, Усть-Обская, Хетская низменности с высотами до 80 м; Южноямальская, Юрибейская, Танамская, Надымская, Салехардская возвышенности, где абсолютные отметки достигают 120—180 м. Эти основные орграфические элементы расположены в пределах морских и водно-ледниковых (юго-восточная часть) равнин.

Особенности развития рельефа территории обусловили гипсометрию основных генетических уровней [2]. Наиболее древней и соответственно имеющей максимальные абсолютные высоты является салехардская равнина Q_{II}^{2-4} (65 м и выше). Следующий ярус рельефа образует казанцевская равнина Q_{III}^1 (45—65 м). Ниже располагается серия морских террас: зырянско-каргинская Q_{III}^{2-3} (22—35 м), каргинско-сартанская Q_{III}^{3-4} (14—20 м), голоценовая Q_{IV} (4—6 м).

Исключительная равнинность территории, повсеместное развитие многолетнемерзлых пород, их высокая льдистость определяют специфику современных экзогенных процессов.

Одним из ведущих процессов, преобразующих поверхность, является термоэрозия. Вопросами размыва мерзлых грунтов начали заниматься еще в конце прошлого века [3, 4]. Долгое время считалось, что по сопротивляемости к размыву мерзлые породы близки к скальным породам [5], т. е. вечная мерзлота тормозит эрозию. К настоящему времени о широком развитии термоэрозионных процессов, их высокой интенсивности опубликовано большое число работ. Одной из первых публикаций, посвященных термоэрозии на севере Западной Сибири, была статья Б. Ф. Косова [6], в которой отмечалось широкое развитие овражных форм и давалось понятие термоэрозии как процесса оврагообразования в районах распространения многолетнемерзлых пород. Многочисленные публикации посвящены рассмотрению факторов, определяющих интенсивность термоэрозионного процесса. Комплексное изучение процесса обычно проводится на стационарах с учетом большого числа параметров [7], однако стационарные исследования предполагают длительный период наблюдений. Термоэрозия изучается также путем моделирования процесса. В результате получены данные об устойчивости к размыву различных по механическому составу и льдистости грунтов [8], определена их относительная устойчивость к размыву.

Во многих работах освещена роль термоэрозии в криолитогенезе [9—17] и сделана попытка оценить величину выноса материала.

Одной из немногочисленных работ, характеризующих региональное распространение термоэрозии, является карта овражности СССР [18]. В настоящей работе рассмотрены распространение и особенности развития термоэрозионных форм на севере Западной Сибири. Имеющиеся характеристики степени и характера овражного расчленения территории [13, 18] достаточно полно отражают морфометрические особенности и динамику овражных форм. Однако набор таких характеристик не всегда позволяет оценить современную активность термоэрозионного процесса. Сопоставление районов, где овражных форм мало, но они имеют значительную длину, с районами, где длина оврагов небольшая, но встречаемость их высока, связано с известными трудностями. Поэтому для оценки эрозионной активности районов с различными морфометрическими характеристиками овражных форм нами был выбран показатель объема переработанного термоэрозией материала¹. Этот показатель учитывает морфометрические характеристики овражных форм, что позволяет сравнить районы, находящиеся в различных природных зонах, определить объем материала, удаляемого термоэрозией.

Для этой цели были рассчитаны следующие параметры: плотность (количество форм на км²), средняя протяженность (суммарная длина, отнесенная к плотности), глубина вреза. Основой для расчета этих показателей послужили материалы дешифрирования аэрофотоснимков и анализа крупномасштабных топографических карт (рис. 1). Данные по глубинам вреза овражных форм были получены в основном из литературных источников, материалов производственных организаций и натуральных наблюдений. Для определения объема форма оврага была аппроксимирована как сочлененные между собой трехгранные призма и пирамида. Соотношение между ними по длине было принято как 3:1 соответственно. Расчет объема термоэрозионной формы проводился по формуле: $V=0,5h^2l$, где h — глубина вреза, l — длина. В результате были получены объемы материала, переработанного термоэрозионными формами. Полученные величины позволили выделить районы с одинаковыми объемами переработанного материала (рис. 2).

В пределах исследованной территории было выделено 10 градаций по объемам переработанного термоэрозией материала, млн. м³/км²: 1) 0,010; 2) 0,010—0,020; 3) 0,020—0,100; 4) 0,100—0,200; 5) 0,200—0,600; 6) 0,600—1,000; 7) 1,000—1,200; 8) 1,200—1,600; 9) 1,600—2,000; 10) 2,000. Такая неравномерность интервалов величин объемов для выделенных районов обусловлена в первую очередь распределением объемов переработанного материала по исследованной территории. Разброс значений велик, и равномерность градаций привела бы, с одной стороны, к значительному увеличению числа выделяемых районов, а с другой — к излишней подробности (для выбранного масштаба) и затушевыванию выявившихся закономерностей.

Выделенные районы можно объединить в три группы, характеризующие территорию по степени термоэрозионной переработки.

1. Слабая степень термоэрозионной переработки отмечается в районах, где интервал значений колеблется от 0,010 до 0,100 млн. м³/км². Эти районы расположены в пределах лесотундры, южной тундры и частично типичной тундры. Если в типичной тундре этими значениями характеризуются наиболее низкие генетические уровни (II, III морские террасы, редко казанцевская равнина), то в южной тундре и лесотундре такие значения характерны и для верхнего яруса рельефа (салехардской равнины). Максимальная плотность овражных форм достигает здесь 6 на 1 км², средняя длина составляет 100—400 м, глубина вреза — 4—8 м.

Надо отметить, что районы с термоэрозионной переработкой 0,010 млн. м³/км² приурочены на севере к наиболее низким уровням

¹ Авторы анализируют обобщенные величины объема переработанного термоэрозией материала, не оценивая в данной статье отдельно долю естественных и антропогенных (техногенных) термоэрозионных форм (ред.).

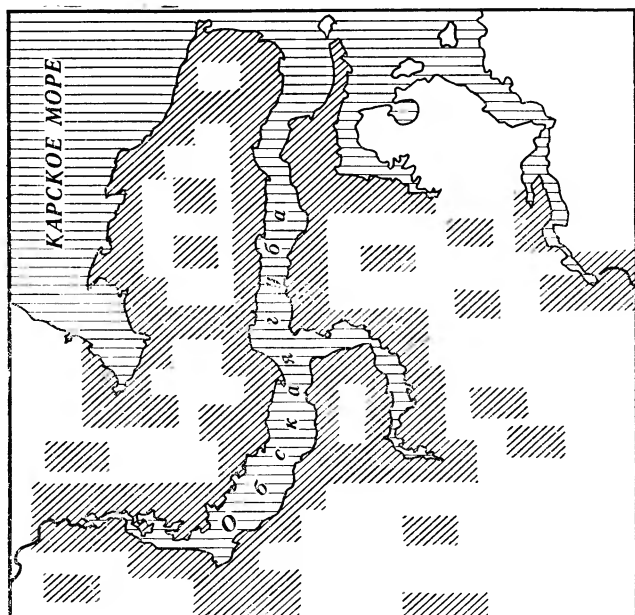


Рис. 1. Обеспеченность фактическим материалом
Заштрихованы районы, где проводились морфометрические измерения

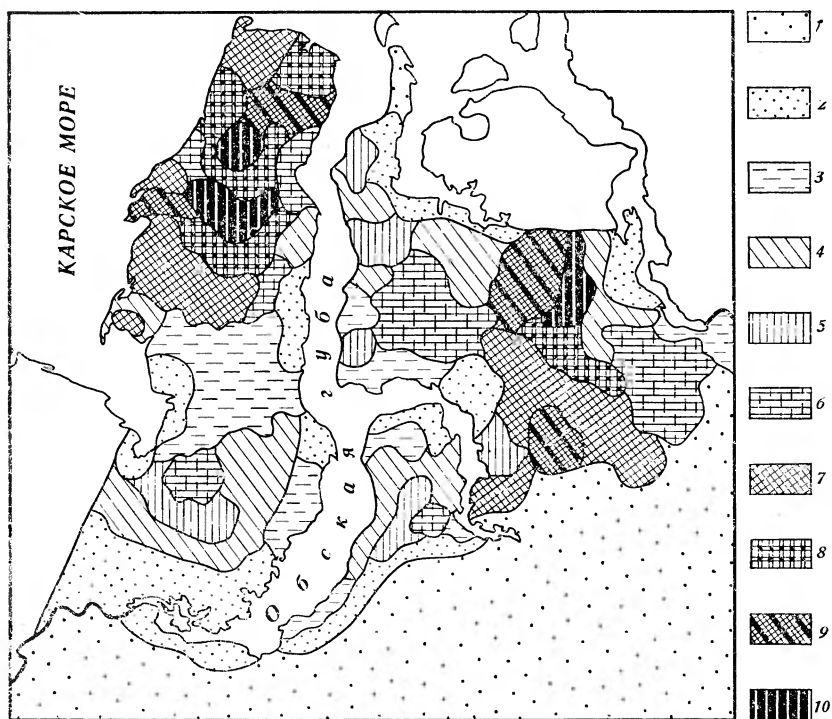


Рис. 2. Объемы термоэрозивной переработки севера Западной Сибири,
млн. м³/км²
1 — <0,010; 2 — 0,010—0,020; 3 — 0,020—0,100; 4 — 0,100—0,200; 5 —
0,200—0,600; 6 — 0,600—1,000; 7 — 1,000—1,200; 8 — 1,200—1,600; 9 —
1,600—2,000; 10 — свыше 2,000

Природная зона	Средняя площадь водосбора одного оврага, м ²	Средний запас влаги в снеге, мм	Средний запас влаги на водосборе, м ³	Период схода снежного покрова, ч	Средний расход воды, м ³ /ч	Максимальная фитомасса, т/км ²
Арктическая тундра	83 000	140	11 000	48	240	500
Типичная тундра	92 000	150	12 000	96	140	2 500
Южная тундра	166 000	150	22 000	144	160	2 500
Лесотундра	166 000	160	24 000	240	110	5 000
Северная тайга	—	170	—	—	—	30 000

* Отмершая (подземная) масса мхов и лишайников составляет 85—90%, корневая система отсутствует.

(в основном 1-я морская терраса), а на юге (лесотундра и северная тайга) имеют незначительные размеры и в их пределах единичные овражные формы приурочены к резким перегибам рельефа (бровки террас, уступы).

2. Средняя степень термоэрозионной переработки характеризуется объемами в интервале 0,100—1,000 млн. м³/км². Такие объемы обычны для южной тундры, особенно на южном Ямале, и типичной тундры в центральной части Гыданского полуострова. Эти районы характеризуются большими показателями овражного расчленения, и количество форм на единицу площади возрастает здесь от 6 до 10; средняя длина оврагов 400—600 м, а глубина вреза до 10—12 м.

3. Сильная степень переработки отмечается при значениях от 1,0 до 2—3 млн. м³/км². Такие районы сосредоточены в арктической тундре и типичной тундре на севере Ямала, а также в центральной части Гыданского полуострова. Плотность достигает 10 форм на 1 км², а на некоторых участках до 12. Средняя длина составляет 800—1600 м, глубина вреза 15—18 м. Следует отметить, что плотность 12 форм на 1 км² является максимальной для севера Западной Сибири. При такой плотности оврагов их вершины достигают водоразделов и поверхность приобретает облик бедленда.

При начале работ предполагалось, что овражное расчленение будет находиться в прямой зависимости от гипсометрического положения, т. е. максимальные по размерам овраги будут располагаться в пределах салехардской и казанцевской равнин и косвенным образом отражать энергетический потенциал рельефа. В пределах одной природной зоны (например, арктической тундры) овражное расчленение в целом подчеркивает высотное положение определенного генетического уровня. Напомним, что для севера Западной Сибири характерна высотная привязка генетических уровней. Как видно из приведенного выше рисунка, степень овражного расчленения и объем переработанного термоэрозией материала уменьшаются с севера на юг, причем разница в абсолютных значениях достигает 3—4 порядков. Эта зависимость имеет место только в зоне развития термоэрозии, южной границей которой можно считать линию, соединяющую устья основных рек региона: Оби, Надыма, Таза, Пура. Южнее этой границы, несмотря на увеличение средней высоты (и максимальных абсолютных отметок), овражное расчленение практически отсутствует.

Такая неожиданная, на первый взгляд, картина становится вполне объяснимой, если обратиться к анализу различных факторов, определяющих возникновение и развитие овражной сети (таблица). В пределах всей территории исследований развиты в основном суглинисто-супесчаные отложения, что позволяет нам в данном масштабе не рассматривать литологический состав в числе основных факторов. Воспользовавшись таблицей, можно проанализировать ряд показателей, определяющих зональную изменчивость степени термоэрозионной переработки севера Западной Сибири.

Льдистость отложений наряду с литологией хотя и определяет развитие термоэрозии на всей территории, но не влияет на интенсивность

для севера Западной Сибири

Максимальная масса корневой системы, т/км ²	Суммарная льдистость, %	Максимальная макрольдистость, %	t° на подошве слоя промерзания-оттаивания, град	t° год поверхности, град	Максимальная плотность оврагов	Средняя длина оврагов, м
—	50	44	-7÷-9	-10÷-12	12	до 1600
2250*	50	32	-5÷-8	-10÷-11	10	до 600
625	55	20	-3÷-5	-8÷-10	6	до 400
1250	55	Нет данных	-2÷-3	-7÷-9	6	до 100
6600	55	»	<-2	-5÷-7	1-2	до 40

процесса, так как практически одинакова (50—55%) во всех природных зонах.

Максимальная степень термоэрозионной переработки территории отмечается на севере Ямала и в центральной части Гыданского полуострова. Основным фактором как термоэрозии, так и овражной эрозии вообще является период схода снежного покрова, и чем он короче, тем выше расходы талых вод и, следовательно, выше их размывающая способность. В арктической тундре время схода снежного покрова составляет в среднем 48 ч [19], расходы воды в этот промежуток 240 м³/ч. Южнее, в типичной тундре и особенно в центральной части Ямала эти показатели снижаются до 96—144 ч и 140—160 м³/ч соответственно. На Гыданском полуострове они несколько выше и составляют 96 ч и 160 м³/ч. В южной тундре, т. е. в южных частях полуостровов Ямал, Тазовский и Гыданский период схода снежного покрова значительно растянут и составляет 144—240 ч; соответственно ниже и расходы воды — 110—140 м³/ч. В лесотундре, т. е. на границе зоны развития термоэрозии, продолжительность периода схода снежного покрова максимальна — 240 ч, соответственно ниже и расходы воды — до 110 м³/ч.

Кроме продолжительности схода снежного покрова, на расходы воды и концентрацию стока существенное влияние оказывают температура почвогрунта в период снеготаяния и характер растительного покрова. Эти два фактора также подвержены зональной изменчивости. Чем ниже температура почвогрунта, тем меньше его фильтрационная способность, т. е. меньше потери воды на промачивание грунта. Однако в понижениях рельефа и днищах оврагов, где накапливается снег, температура почвогрунта значительно выше и может составлять лишь десятые доли градуса ниже нуля, тогда как на окружающих пространствах она может опускаться до -10÷-12°С. В результате талые воды почти без потерь на промачивание концентрируются на дне оврага и активно эродировать практически немерзлый грунт. По мере продвижения на юг такое контрастное положение постепенно сглаживается за счет общего повышения температуры почвогрунта. В лесотундре температура почвогрунта достигает (в период схода снежного покрова) -5÷-7°С. Соответственно увеличиваются потери воды на промачивание (при увеличении времени схода снежного покрова) и снижается концентрация стока.

Растительный покров оказывает существенное влияние на активность эрозии. С севера на юг меняется не только характер растительности, но и количество фитомассы (500 т/км² в арктической тундре, 5000 т/км² в лесотундре) [20]. Еще более показательной характеристикой служит масса корневой системы, которая армирует органо-минеральную массу и является основным фактором, препятствующим размыву почвогрунта. Масса корневой системы в типичной тундре (см. таблицу) в данном случае нехарактерна, так как подземная (отмершая) масса мхов и лишайников относится к корневой системе условно и по существу не увеличивает противоэрозионную стойкость грунта. Таким образом, зональная изменчивость растительного покрова также определяет зональность эрозионного потенциала территории.

В зависимости от расходов воды в период весеннего снеготаяния и от концентрации стока находится еще один фактор, определяющий развитие овражной эрозии — площадь водосбора. Точнее, минимальная площадь водосбора, необходимая для образования единичной овражной формы с определенными морфометрическими характеристиками в конкретных природных условиях. Анализируя зональную изменчивость густоты овражного расчленения, удалось установить минимальную площадь водосбора типичного оврага для каждой из природных зон. Площадь водосбора типичной овражной формы в арктической тундре составляет 83 тыс. м², в типичной тундре она увеличивается до 92 тыс. м², а в южной тундре и лесотундре возрастает до 166 тыс. м². Это говорит о том, что, несмотря на некоторое увеличение запасов воды в снеге, определяющим фактором развития процесса оврагообразования являются не запасы влаги в снеге, а расходы талых вод (или концентрация стока), которые в свою очередь зависят от ряда факторов: продолжительности периода схода снежного покрова, температуры почвогрунта, характера растительности.

Очевидно, что в арктической и типичной тундре, где вышеперечисленные факторы имеют однонаправленное влияние, увеличивающее расходы воды, следует ожидать максимального развития процесса оврагообразования, что подтверждается полученными в результате измерений данными. По мере продвижения на юг сочетание этих факторов приводит к рассеиванию стока (возрастает фильтрация воды в грунт и т. п.) и уменьшению расходов воды. Увеличение фитомассы и армирование грунта корневыми системой растений приводит к большей сопротивляемости почвогрунтов размыву и к меньшей активности термоэрозийного процесса, т. е. к уменьшению объемов переработанного термоэрозией материала.

Таким образом, термоэрозия на севере Западной Сибири имеет хорошо выраженную зональную обусловленность. Это отражается в морфометрических показателях термоэрозийных форм и наиболее ярко характеризуется объемами переработанного материала. Максимальных значений они достигают в арктической тундре — более 2 млн. м³/км², минимальных — в лесотундре и северной тайге — 0,010—0,020 и < 0,010 млн. м³/км² соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мещеряков Ю. А. Структурная геоморфология равнинных стран. М.: Наука, 1965. 389 с.
2. Лазуков Г. И. Антропоген северной половины Западной Сибири. М.: Изд-во МГУ, 1980. 322 с.
3. Ячевский Л. А. О вечномёрзлой почве в Сибири.— Изв. русск. геогр. об-ва, 1889, т. 25, с. 341.
4. Павлов А. П. О рельефе равнин и его изменении под влиянием подземных и поверхностных вод.— Землеведение, 1889, т. 5, с. 22.
5. Драницын Д. А. О некоторых зональных формах рельефа Крайнего Севера.— Почвоведение, 1914, № 4, с. 21.
6. Косов Б. Ф. Овражная эрозия в зоне тундры.— В кн.: Научные доклады высшей школы, геол.-геогр. науки, № 1, М.: Изд-во АН СССР, 1959, с. 123.
7. Данько В. К. Интенсивность развития овражной эрозии и термоэрозии в естественных условиях севера Западной Сибири.— В кн.: Инженерные изыскания в строительстве, вып. 2. М.: Центр. ин-т научн. информ. по строительству и архитектуре, 1981, с. 26.
8. Малиновский Д. В. Размываемость мерзлых пород и методика ее изучения при мерзлотно-инженерно-геологических исследованиях: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1980. 24 с.
9. Григорьев А. А. Субарктика, Опыт характеристики основных типов географической среды, 2-е изд. М.: Географгиз, 1956. 253 с.
10. Коржув С. С. О естественной эрозии в зоне вечной мерзлоты.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1964, № 3, с. 16.
11. Гравис Г. Ф. Роль склоновых процессов в эрозионно-термокарстовом расчленении аллювиальных равнин Якутии.— В кн.: Материалы VIII Всесоюз. межвед. совещ. по геокриологии (мерзлотоведению), вып. 6. Якутск, 1966, с. 67.
12. Коржанцов А. С. Своеобразие эрозионных процессов в криогенных почвах.— В кн.: Почвенный криогенез и мелиорация мерзлотных и холодных почв. М.: Наука, 1975, с. 241.

13. Косов Б. Ф., Константинова Г. С. Овражная эрозия в области вечной мерзлоты.— В кн.: Вопросы криологии Земли. М.: Наука, 1976, с. 162.
14. Замолотчиков С. А., Чушкина Н. И. Термэрозия пород в низовьях Енисея.— В кн.: Мерзлотные исследования, вып. 16. М.: МГУ, 1977, 100 с.
15. Суходровский В. Л. Экзогенные процессы рельефообразования на севере Западной Сибири.— В кн.: Геокриологические и гидрологические исследования Сибири. Якутск, 1977, с. 56.
16. Чигар В. Г. Криогенное склонообразование.— В кн.: Проблемы криолитологии, вып. 6. М.: Изд-во МГУ, 1977, с. 34.
17. Григорьев Н. Ф. Формирование техногенных мерзлотных ландшафтов в северных районах Тюменской области.— В кн.: Техногенные ландшафты и их рекультивация. Новосибирск: Наука, 1979, с. 35.
18. Косов Б. Ф., Константинова Г. С. Комплексная карта овражности СССР.— Геоморфология, 1973, № 3, с. 3.
19. Справочник по климату СССР, вып. 17. Л.: Гидрометеониздат, 1965. 344 с.
20. Базиливиц Н. И., Родин Л. Е. Продуктивность и кругооборот элементов в естественных и культурных фитоценозах (по материалам СССР).— В кн.: Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. М.: Наука, 1971, с. 14.

Московский государственный
университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
25.I.1985

THERMAL EROSION AT THE NORTH WEST SIBERIA

VOSKRESENSKY K. S., ZEMCHIKHIN V. E.

Summary

Some gully landforms due to thermal erosion are discussed which has been observed at the north West Siberia. A new index is introduced to characterize volume of material removed by thermal erosion; the area has been subdivided into regions according to the index values. Main factors are considered which control the thermal erosion character and distribution. The process is demonstrated to be mostly developed in the north, within the arctic tundra zone, the gullies size and volume being maximum within the zone. Southward the values decrease and become smallest within the forest-tundra and northern taiga. Zonal character of the thermal erosion is preconditioned by climatic parameters of the zones; northern regions are typical for maximum concentration of the runoff (due to rapid snow melting) and almost complete absence of developed root system, as the plants are mostly presented by moss and lichens.

УДК 551.435(262.9 : 574.54)

ГРЯЗНОВА Т. П.

ПРОЦЕССЫ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ НА ОСУШИВШЕМСЯ ДНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ В РАЙОНЕ ДРЕВНЕЙ КАЗАЛИНСКОЙ ДЕЛЬТЫ СЫРДАРЬИ

Обширные площади осушенного дна Аральского моря, отличающиеся большим разнообразием рельефа, расположены на восточном побережье моря в районе древней голоценовой Казалинской дельты Сырдарьи. Осушенные территории к 1985 г. в среднем достигают здесь ширины 50, а местами — на западном продолжении залива Бозколь — 70 км.

Современные черты рельефа этой территории в значительной степени определяются ее прежними геоморфологическими особенностями. Восточное побережье окаймляла полоса островов-баров — Узункаир, Кызылбай, Акбасты, Косарал и др., ограничивавших прибрежное мелководье. Цепь этих островов послужила барьером для дующих с моря западных ветров, в результате чего в 20-километровой зоне затишья между островами и бывшим берегом моря образовалась сложная перейма.