

## **Стабильность северных почв и экосистем к техногенным воздействиям**

В.Д.Василевская, В.Я.Григорьев, А.Ю. Сидорчук

Московский Университет, 119899 Москва, Россия

### **Введение**

Проблемы устойчивости природных и техногенных экосистем и почв в связи с усиливающимся техногенным влиянием и возможными глобальными изменениями климата приобретают в настоящее время особое значение. В мерзлотных районах Севера решение вопросов оценки устойчивости почв и экосистем в целом к различным видам техногенного воздействия становится весьма актуальным.

Могут быть выделены различные типы устойчивости почв. Наиболее показательны 1) устойчивость поверхности; 2) противоэрозионная устойчивость; 3) геохимическая устойчивость по отношению к кислотным выпадениям, загрязнению тяжелыми металлами и др. продуктами техногенеза; 4) биологическая устойчивость - сохранение растительного покрова и почвенной биоты. Предложен перечень необходимых параметров для оценки устойчивости. Он включает: 1) климатические показатели, характеристики рельефа и мерзлоты; 2) характеристики фитоценоотического компонента экосистемы - биомасса, продуктивность, емкость и интенсивность круговорота; 3) свойства и режимы почв - щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия, водный режим, гранулометрический и минералогический состав, емкость катионного обмена, содержание или запасы гумуса.

Многие исследователи устойчивости природных комплексов, экосистем и почв склоняются к мысли о перспективности подхода к определению устойчивости через инте-

гральные показатели. При этом применяются два метода. В рамках первого для набора необходимых параметров (разного для разных типов устойчивости) проводится ранжирование свойств и их экспертная оценка (обычно между 1 и 5 баллами), в результате суммирования которых определяется значение интегрального параметра.

Этот метод был использован для сравнения устойчивости почв Ямала и Таймыра (Василевская, 1996). Глееземы Ямала менее устойчивы к проявлению эрозионных процессов ( 11 баллов на Ямале против 14-18 баллов на Таймыре при максимуме 25 баллов) и менее геохимически устойчивы ( соответственно 23 и 30-40 баллов из 55). Это связано с преобладанием кварца в минеральном составе почв Ямала, их малогумусностью, ненасыщенностью, меньшими запасами корней, более легком гранулометрическом составом.

В рамках второго метода оценки устойчивости тундровых почв по отношению к эрозии используется гидрологический подход, основанный на законах гидравлики и динамики взвесенесущих потоков, которые позволяют разработать физически обоснованные модели прогноза и управления негативными процессами при промышленном освоении районов Крайнего Севера. В эти модели входят критические величины и коэффициенты, такие как содержание органического вещества в почвах разной степени нарушенности, критическая скорость начала размыва почв потоками при снеготаянии и дождях, коэффициенты устойчивости почв при эрозии и термоэрозии и пр. В настоящем исследовании в основном применяется второй метод оценки стабильности эрозионных ландшафтов на полуострове Ямал.

## **Естественная неустойчивость эрозионного ландшафта на западе центрального Ямала.**

Главными разрушительными процессами являются: миграция речных русел и криогенных озер; 2) таяние пластовых льдов, криопланиция; 3) быстрые сплывы на склонах; 4) овражная эрозия.

Основные реки региона меандрируют. Средние скорости размыва берегов составляют 0,3-0,5 м/год и до 2-3 м/год. Подмываются вогнутые берега излучин, на высоких берегах формируется крутой уступ, который способствует образованию криогенных и эрозионных форм.

Криопланиция происходит в результате таяния пластовых льдов, часто на крутых речных берегах. Она ведет к образованию термокаров шириной до 250 м и протяженностью 300-500 м. Криопланиция часто сопровождается овражной эрозией. Эти процессы совместно могут формировать низкие террасовидные поверхности, так как отдельные массивы пластового льда имеют мощность до 50 м и площадь в несколько квадратных километров.

Быстрые сплывы на склонах обычно формируются в относительно влажное лето, которое следует за 2-3 годами с жарким летом. Многочисленные слойки льда образуются у нижней границы активного слоя и сцепление на границе массива суглинистого грунта уменьшается до 50-100 Па. В этой ситуации насыщение блока грунта водой приводит к его быстрому сползанию вниз по склону на расстояние в несколько сотен метров даже при уклонах 1-2°. Оголенная почва легко подвергается эрозии и на следующий год после оползания на склоне может образоваться эрозионная форма. В последний раз благоприятные условия для массовых быстрых сплывов сложились в 1989-90 гг., когда на склонах высокой суглинистой террасы было повреждено до 2% растительного покрова. Средняя

площадь отдельных блоков сплыва составила  $7300 \text{ m}^2$ , а средняя их мощность была 1,2 м. На склонах отчетливо прослеживаются следы прежних быстрых сплывов, они покрывают всю поверхность этих склонов.

Естественные овраги обычно формируются на морских террасах с относительной высотой 20-45 м. Высокая (30-45 м) терраса сложена суглинками и глинами с массивной криогенной текстурой. Крутые обращенные к реке склоны этой террасы расчленены многочисленными береговыми оврагами, обычно длиной 50-70 м. Только в областях повышенной льдистости размываемых грунтов некоторые овраги достигают длины 1-2 километра. На поверхности террасы развита сеть пологосклонных ложбин, их густота составляет  $2,3 \text{ км/км}^2$ . Как естественные, так и техногенные овраги формируются вдоль этих ложбин в областях нарушения растительного покрова или увеличения поверхностного стока.

Низкая морская терраса (20-25 м) сложена тонкими заиленными песками с ледяными клиньями в верхней части разреза и пластовыми льдами в нижней. Эта поверхность более интенсивно расчленена естественными оврагами из-за меньшей эрозионной устойчивости тонких песков.

### **Техногенная эрозия в западной части центрального Ямала.**

Исследования 1990-95 гг. были сосредоточены на территории двух эксплуатационных поселков - передвижной базе бурения (ПББ) и комплексного электрохозяйства (КЭХ) Бованенковского газо-конденсатного месторождения. Здесь растительный покров на значительной площади уничтожен гусеничной техникой, а сток поверхностных вод увеличился из-за аккумуляции снега у зданий и откосов дорог. У поселка ПББ сформировался овраг 9, а у поселка КЭХ - овраги 44-46.

На оголенных склонах с нерегулярным микрорельефом сформировалась дендровидная сеть эрозионных борозд глубиной от 0,1 до 0,5 - 0,6 м, и шириной от 0,3 до 1,5 м. Их густота составляет 0,1 м/м<sup>2</sup> в верхних частях и 0,05 м/м<sup>2</sup> в средних частях склонов. В нижних частях склонов эрозионные борозды часто трансформируются в овраги. На территории поселка КЭХ за период снеготаяния 6-27 июня 1991 г на склоне площадью 1 га и уклоном 3,5° слой стока составил 171 мм и интенсивность эрозии 40 т/га. На соседнем склоне с площадью 2,8 га и с уклоном 2,5° слой стока составил 132 мм, а интенсивность эрозии 6 т/га. Во время дождя 8-9 августа 1990 г, когда максимальная получасовая интенсивность дождя достигала 0,44 мм/мин (повторяемость раз в 20 лет), слой стока составил 11 мм на обоих склонах, а интенсивность смыва 4,3 т/га на первом и 5,6 т/га на втором склоне. Столь значительная изменчивость величин смыва объясняется различной степенью техногенного воздействия на склоны в разное время.

Еще более сложны процессы эрозии в оврагах. В период снеготаяния вода с водосбора концентрируется в вершине оврага, но сама эрозионная форма еще заполнена снегом. Скорость таяния снега в овраге определяется температурой и количеством поступающей с водосбора воды и плотность снега в овраге. Например, в первую неделю снеготаяния (6-10 июня 1991 г) в оврагах 9 и 46 с площадью водосбора выше вершины 7-10 га снежное заполнение мощностью 2-3 м было полностью прорезано водой и сформировался меандрирующий канал с вертикальными снежными стенками. Наносы с водосбора и со дна оврага выносились к его устью. Овраги 45 с водосбором 3 га и овраг 44 с водосбором 1 га в это время оставались заполненными снегом. До 83% наносов с водосбора задерживались в снежной толще. Только в конце периода снеготаяния началась активная эрозия днищ этих оврагов. В целом интенсивность размыва оврагов в период снеготаяния 1991 г составила 0,8- 1,2 м / месяц при слое стока 150 мм.

Летне-осенние дожди на западе центрального Ямала имеют продолжительность 74-171 часов. Однако лишь 2-4 дождя дают слой осадков более 1 мм/день (наблюденный максимум 40 мм/день). Некоторые из этих дождей вызывают овражную эрозию. Так 8-9 августа 1990 г в оврагах у поселка КЭХ размыв составил 0,5-0,6 м/ день.

После эпизода эрозии - термоэрозии в днище оврага формируется глубокая (от 0,6-1,4 до 2,5 м) и узкая (0,4-0,6 м) щель. Этот врез быстро заплывает мелкими оползнями, и форма поперечного сечения оврага становится трапециевидной. Чередование эрозионного врезания и склонового заполнения приводит к сравнительно невысоким средним скоростям углубления оврагов. В период 1991-1995 гг. углубление оврагов 9 и 45 составило в среднем по длине 0,6 м, у оврага 44 - 0,9 м. Овраг 46 углубился на 1,3 м в верхней части, зато в нижней произошла аккумуляция толщи наносов мощностью 0,7 м .

Анализ аэрофотоснимков показывает, что удлинение оврагов тоже происходит неравномерно. Основная вершина оврага 44 стабильна с 1970 г, однако выше на склоне сформировалась глубокая эрозионная рытвина, а на перегибе склона- верхняя активная вершина. Длина оврага 45 была 165 м в 1988 г, 190 м в 1989, 210 м в 1990, 230 м в 1991 и 280 м в 1995 г. Скорость отступления вершины оврага уменьшалась во времени. Однако, как и у оврага 44, здесь сформировалась новая активная вершина в 400 м от устья оврага. Аналогичный тренд прослеживается и в овраге 46. средняя скорость его удлинения была 40 м/год в 1988-91 гг. и 10 м/год в 1991-95 гг. Наиболее активно овраг вырос в 1989-91, когда рядом с ним располагался газовый факел и происходило растепление грунтов. Овраг 9 отсутствовал еще в 1986 г, лишь пологая ложбина длиной 240 м моделировала склон. После сооружения поселка ПББ в 1986-87 гг. началась интенсивная эрозия и термоэрозия в условиях увеличения поступления воды с водосбора. В 1988 г длина оврага составляла уже 450 м, в 1989 - 740 м, в 1990 - 940 м. Вершина оврага достигла сооружений поселка

ПББ и ее активный рост был остановлен периодическими работами по засыпке оврага. Тем не менее длина оврага в 1995 г была на 25 м больше, чем в 1995 г.

### **Борьба с эрозией в условиях развития многолетнемерзлых пород.**

На территории Бованенковского ГКМ применялось несколько методов борьбы в ростом оврагов. Все эти методы разработаны в умеренной зоне и неприменимы в условиях развития многолетней мерзлоты. В вершине оврага 9 была сооружена дамба, но уже в 1995 г сформировался новый отвершек оврага в обход дамбы. Периодические выполаживания вершин этого оврага с помощью бульдозера дают временный эффект, так как ежегодно здесь возобновляется эрозия. Некоторые участки дна и берегов оврага 9 были покрыты технотекстилем, однако и здесь обычно эрозия развивалась в обход покрытия.

Эти случаи показывают, что остановить уже сформировавшиеся эрозионные и термоэрозионные формы очень трудно из-за низкой водопроницаемости мерзлых грунтов, высокой их эродированности и малой устойчивости склонов. Поэтому главными мерами борьбы с эрозией должны быть превентивные меры. К ним относятся : 1) использование под строительство поселков и эксплуатационных сооружений только устойчивых эрозионных ландшафтов, к которым на центральном Ямале относятся поймы рек; 2) увеличение устойчивости неустойчивых ландшафтов - склонов, в областях строительства линейных сооружений (дорог, трубопроводов). Первая мера применяется в настоящее время при обустройстве территории Бованенковского ГКМ. Условия применимости второй меры в настоящее время исследуются. Здесь важны определения критериев устойчивости растительного покрова и почв по отношению к эрозии, формулировка которых базировалась бы на законах гидравлики.

Содержание биомассы в типичных тундрах Ямала составляет 500-2000 г/м<sup>2</sup>, и 10-25% этого объема представляет собой корни в почве (Василевская и др, 1977, 1990). Тонкие (менее 1 мм в диаметре) живые и отмершие корни пронизывают почвенные агрегаты, соединяя их и увеличивая общую связность почв. Полевые и лабораторные эксперименты показывают, что связность почв  $C_h$  (в Па 10<sup>5</sup>) быстро увеличивается с содержанием тонких корней в верхних 2-5 см почвы  $R$  г/100 см<sup>3</sup>:

$$C_h = C_0 \exp(0.5R) \quad (1).$$

Здесь  $C_0$  - связность той же почвы, но без корней растений.

Критическая скорость начала размыва связной почвы определяется силами трения и сцепления. Эта критическая скорость может быть рассчитана по формуле:

$$U_{cr} = 2.25\sqrt{d + 0.18C_h^{2.25}} \quad (2).$$

Здесь  $d$  - средний диаметр почвенных агрегатов (м).

Если скорость потока на склоне меньше критического значения, интенсивность как эрозии, так и термоэрозии меньше скорости почвообразования и такая поверхность устойчива по отношению к эрозии. Если же поверхность неустойчива, то увеличение ее устойчивости может быть достигнуто увеличением качества растительного покрова (и увеличением связности поверхностного слоя почвы). Формулы (1) и (2) были использованы в моделях плоскостного смыва (Григорьев, Сидорчук, 1995) и овражной эрозии ((Sidorchuk, 1996) для оценки необходимого качества растительного покрова на склонах Бованенковского ГКМ. Это критическое качество варьирует от одного склона к другому в зависимости от морфологии склона его сложения и стока воды. Эти характеристики могут изменяться в ходе техногенного воздействия на территорию. Например, водосбор оврага 46 в естественных условиях будет устойчивым при  $U_{cr}=0.58$  м/с, и качество растительного покрова должно соответствовать содержанию тонких корней не менее 2.0 г/100 см<sup>3</sup> для



глин,  $3.1 \text{ г/100 см}^3$  для суглинков и  $4.1 \text{ г/100 см}^3$  для супесей. В условиях накопления снега в поселке КЭХ и увеличения стока воды критическая скорость должна быть увеличена до  $U_{cr}=0.65 \text{ м/с}$ , а качество растительного покрова должно  $2.2 \text{ г/100 см}^3$  для глин,  $3.3 \text{ г/100 см}^3$  для суглинков и  $4.3 \text{ г/100 см}^3$  для супесей

### **Заключение**

Основным методом увеличения устойчивости тундровых почв по отношению к эрозии является улучшение качества растительного покрова. Главными интегральными критериями такой устойчивости являются критическая скорость начала размыва грунтов и содержание в поверхностном слое почвы тонких корешков растений.

### **Библиография**

Васильевская В.Д., Богатырев Л.Г. Определение доли живых и отмерших корней в тундровых фитоценозах // Вестн. Моск. ун-та, Сер.17, почвоведение, 1977, N1, С. 8-12.

Васильевская В.Д., Иванов В.В., Богатырев Л.Г. Почвы Севера Западной Сибири, М., Изд-во МГУ, 1986, 227 с.

Васильевская В.Д. Оценка устойчивости тундровых мерзлотных почв к антропогенным воздействиям. // Вестн. Моск. ун-та, Сер.17, почвоведение, 1996, N1, С.27-35.

Григорьев В.Я., Краснов С.Ф., Кузнецов М.С., Ларионов Г.А., Литвин Л.Ф., Прогнозирование и предупреждение эрозии почв при орошении. М; Изд-во МГУ, 1992. 208 с.

Григорьев В.Я., Сидорчук А.Ю. Прогноз дождевой эрозии тундровых почв полуострова Ямал. Почвоведение, N 3,1995, с.351-357.

Sidorchuk A. (1996) Gully thermoerosion on the Yamal peninsula. In: Slaymaker ed.:*Geomorphic Hazards*, Wiley, 141-153.