

DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-114-116

ЛИТОКРИОГЕННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ АРКТОТУНДРОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ГЫДАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

LITHOCRYOGENIC STABILITY OF ARCTOTUNDRA LANDSCAPES OF THE GYDAN PENINSULA

Зотова Л.И.

Zotova L.I.

e-mail: zotlar@mail.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва
Lomonosov Moscow State University, Moscow

Аннотация. Раскрывается процедура оценки и картографирования литокриогенной (мерзлотной) устойчивости ландшафтов к проявлению опасных рельефообразующих процессов. На примере тестового полигона, расположенного на севере Гыданского полуострова, поясняется выбор ведущих факторов, влияющих на активизацию процессов при импульсных механических нарушениях напочвенных покровов. Это: льдистость и характер размываемости дисперсных мерзлых пород, скорость самовосстановления растительности, а также мощность и динамика сезонно-талого слоя наряду с показателями густоты эрозионной сети. По уравнению множественной регрессии рассчитан количественный интегральный индекс литокриогенной устойчивости для калибровки ландшафтов по уязвимости к освоению. ГИС-анализ карты выявил закономерность снижения устойчивости в этом регионе – от пойменных заболоченных комплексов к заовраженным дренированным сильнольдистым склонам междуречий с активным проявлением термоэрозии и солифлюкции.

Abstract. The procedure for assessing and mapping the lithocryogenic (permafrost) resistance of landscapes to the manifestation of dangerous relief-forming processes is disclosed. On the example of a test site located in the north of the Gydan Peninsula, the choice of the leading factors influencing the activation of processes during impulse mechanical disturbances of the ground cover is explained. These are: ice content and the degree of frozen rocks erosion, the rate of self-restoration of vegetation, as well as the thickness and dynamics of the seasonally thawed layer, as well as indicators of the erosion network density. Using the multiple regression equation, a quantitative integral index of lithocryogenic stability was calculated to calibrate landscapes in terms of vulnerability to economic development. The GIS analysis of the map revealed a pattern of stability decrease in the study area - from floodplain swampy complexes to ravine heavily icy slopes of interfluves with thermal erosion and solifluction active manifestation.

Ключевые слова: устойчивость ландшафтов, криолитозона, криогенные процессы, экспертная оценка, геоинформационное картографирование.

Keywords: landscapes stability, permafrost zone, cryogenic processes, expert assessment, geoinformation mapping.

Литокриогенная устойчивость определяется способностью северных геосистем противостоять техногенной активизации криогенных процессов, которые не только изменяют облик коренных ландшафтов, но и представляют угрозу функционированию инженерных сооружений [2]. Мерой устойчивости в данной трактовке служит характер саморазвития и степень возможного самовосстановления ландшафтов после снятия внешней нагрузки. Основным показателем реакции криогенных ландшафтов на внешние воздействия – интенсивность активизации криогенных процессов [4]. Понятие «литокриогенная устойчивость» следует рассматривать как синоним мерзлотной «чувствительности» (sensitivity), «уязвимости» (vulnerability) ландшафтов [3].

Предметом исследования является реакция криогенных ландшафтов на изменение параметров природных факторов при импульсном техногенном воздействии, которая проявляется в изменении теплофизических свойств мерзлых пород, изменении защитных функций почвенно-растительных покровов и резкой активизации экзогенных процессов. Чем значительнее влияние отдельных факторов, или их групп – тем менее устойчив природный комплекс к активизации деструктивных экзогенных процессов при техногенных воздействиях. В качестве основного типа таких воздействий в работе рассматриваются механические нарушения растительного покрова и верхнего торфянистого горизонта мощностью до 20 см, а также нарушения микрорельефа. Данный тип нарушений чаще всего происходит разово, т.е. имеет импульсный характер, вследствие проезда техники, прокладки трубопроводов, или же при организации строительных площадок [2]. Однако именно при данных нарушениях происходит первичная деформация ландшафтов, изменение их мерзлотных свойств, что приводит к «запуску» цепочки негативных явлений, в числе которых экзогенные рельефообразующие процессы.

В методическом плане оценка литокриогенного состояния ландшафтов основана на определении ведущих факторов, влияющих напрямую на потенциальную активизацию нежелательных криогенных процессов, связанных с фазовыми переходами воды. Это криогенное строение (льдосодержание) и температурный режим мерзлых пород в верхней части до глубины соответствующей слою годовых теплооборотов, глубина сезонного протаивания или промерзания, рельеф, теплоизоляционные свойства растительности и скорость ее самовосстановления [4]. Температура горных пород и льдистость определяют интенсивность оттаивания пород. Чем ниже температура и меньше льдистость мерзлых пород – тем меньше риск возникновения процессов, в то же время, на талых породах интенсивность процессов также затухает. Состав пород также определяет интенсивность развития криогенных процессов. Наименее устойчивыми к изменению температурных и влажностных условий являются сильнольдистые торфа и глины, а самыми устойчивыми считаются талые или сильномерзлые слабольдистые пески и супеси. Теплоизоляционные свойства напочвенного покрова обуславливают сохранность темпера-

турных условий мерзлых пород. Чем больше проективное покрытие, высота растительных сообществ, тем опаснее её уничтожение. Скорость самовосстановления растительности после нарушения определяется, насколько быстро ландшафт вернется в фоновое состояние. Чем меньше потенциал восстановления, тем больше риск активизации процессов [2].

Тестовый участок «Гыдан» находится на северо-западе Гыданского п-ова в подзоне арктической тундры в зоне сплошного распространения сильнольдистых мерзлых пород, суровых климатических условий. В ландшафтной структуре преобладают мохово-лишайниковые тундры на дренированных междуречьях, сложенных пылеватými песками и супесями морского происхождения. Такие ПТК занимают 56,2% площади участка. На настоящий момент площадь поражения склоновыми процессами (овражная термоэрозия, солифлюкция, оползни-сплывы) составляет 12,4% от общей площади участка [1].

На основе данных дистанционного зондирования высокого разрешения со спутника GeoEye-1, результатов инженерных изысканий и полевых исследований 2019 г., составлена ландшафтно-типологическая карта в масштабе 1:50 000. Легенда к ней выполнена в табличной форме, где в шапке представлены геолого-геоморфологические характеристики, а в рядах – почвенно-растительные комплексы. На пересечении колонок и рядов образуются клетки с ПТК ранга урочищ – наиболее подходящих для крупномасштабного картографирования. Именно ландшафтная карта использовалась в качестве базовой основы для составления серии мерзлотных карт и итоговой карты устойчивости ландшафтов к потенциальным антропогенным воздействиям.

Второй этап оценки - выбор ведущих природных факторов, влияющих на активизацию деструктивных криогенных процессов при импульсных механических нарушениях напочвенных покровов и анализ их значимости. Изменения параметров этих факторов выражаются в снижении или увеличении литокриогенной (мерзлотной) устойчивости ландшафтов. Для выбора факторов использовались полевые материалы, данные изыскательских организаций, а также применялся ландшафтно-аналоговый метод сравнения со схожими участками.

Число и спектр оцениваемых факторов обычно меняется в зависимости от региональной специфики и масштаба исследований. Так, универсальными факторами считаются льдистость (I) и температура мерзлых пород (T), а также снижение защитных свойств почвенно-растительных покровов (P) и их способность к самовосстановлению (V). На участке «Гыдан» дополнительно учитывались ещё три фактора, напрямую влияющих на проявление доминирующих в этом регионе термоэрозийных процессов. Это степень размываемости мерзлых дисперсных пород (L), густота эрозионного расчленения (K), а также увеличение глубины сезонно-талого слоя при нарушении (S) [1]. Значения каждого фактора были разбиты по четырехбалльной шкале влияния. 4-м баллам соответствует критическое значение фактора, при достижении которого резко снижается устойчивость ландшафта и растет опасность активизации процессов (табл.).

Для количественной оценки литокриогенной устойчивости ландшафтов используется интегральный показатель - KMU , который для Гыдана был рассчитан по уравнению множественной регрессии:

$$KMU = 0,15I + 0,11T + 0,13L + 0,06K + 0,10V - 0,72$$

Каждый ландшафт откалиброван по значениям KMU , что позволило ранжировать 28 природных комплексов по трем градациям литокриогенной устойчивости (неустойчивые при $KMU > 0,7$, слабоустойчивые при $KMU 0,45-0,7$, устойчивые при $KMU < 0,45$) с вынесением результатов на итоговую карту.

С помощью многофакторного регрессионного анализа были определены наиболее значимые факторы в интегральной оценке активизации процессов применительно к северо-западной части Гыданского п-ова. В их число вошли льдистость (I), характер размываемости дисперсных мерзлых пород (L) и скорость самовосстановления растительности (V). Таким образом, в этом регионе наименее устойчивы ландшафты мохово-лишайниковых тундр на сильно расчлененных склонах южной экспозиции, сложенных сильнольдистыми хорошо размываемыми пылеватými песками, обладающих низкими снегозадерживающими свойствами и неполным восстановлением [1]. При нарушении растительного покрова, именно в этих природных комплексах велика вероятность активизации термоэрозии, солифлюкции и криогенного оползания – наиболее опасных процессов на Гыданском полуострове.

ГИС - анализ итоговой «светофорной» карты показал следующее.

Площадь группы неустойчивых ПТК в пределах участка «Гыдан» составляет 33%. Это объясняется большей подверженностью арктотундровых ландшафтов Гыданского полуострова склоновым и термоэрозийным процессам, о чем свидетельствует высокий процент пораженности данными процессами уже на настоящее время. К этой группе относятся крутые склоны южной экспозиции и долины оврагов и балок, сложенных сильнольдистыми среднетемпературными пылеватými песками, мезорельеф которых благоприятствует усиленному снегонакоплению [1]. Нарушение растительности на склонах приведет к резкой активизации термоэрозии, солифлюкции и оползанию. Опасность развития этих криогенных явлений обусловлена геофизиологическими условиями района (сильнольдистые пылеватые пески, залежи полигонально-жильных льдов), а также слабыми защитными функциями большинства типов почвенно-растительных покровов.

Таблица. Шкала влияния факторов на возрастание опасности проявления экзогенных процессов на ключевом участке «Гыдан»

| Оценочные факторы | | 1 Слабое | 2 Заметное | 3 Ощутимое | 4 Сильное |
|--|----------|---|--|--|---|
| Объемная льдистость, дол. ед. | I | Слабольшдистые ≤ 0,15 | Умеренно-льдистые 0,15...0,30 | Средне-льдистые 0,30...0,45 | Сильно льдистые ≥ 0,45 |
| Температурный режим мерзлых пород, °С | T | ≤ -7° | -7°... -4,5° | -4,5°... -2,5° | -2,5°... -1,5° |
| Размываемость мерзлых дисперсных пород | L | Слабая (Торф, оторф. супеси) | Средняя (Пески, галечники, супеси слабольшдист.) | Сильная (супеси, суглинки умеренно льдистые) | Очень сильная (Пылеватые пески, суглинки сильно льдистые) |
| Увеличение глубины СТС при механических нарушениях, % относительно фона | S | ≤ 20 % (торф 0,5-1,0 м) | 20-35 % (суглинки, торф 0,15-0,5 м) | 35-50 % (пылеватые пески) | ≥ 50 % (пески, супеси) |
| Густота эрозионной сети, км/км ² | K | Низкая ≤ 6 км/км ² | Средняя 6-10 км/км ² | Высокая 10-15 км/км ² | Чрезвычайно высокая ≥ 15 км/км ² |
| Снижение защитных свойств почв.-растит. покровов при механических нарушениях | P | Минимальное (Разреженные и травяно-лишайниковые) | Среднее (кустарничково-лишайниковые; лишайниково-моховые и мохово-травяные) | Сильное (кустарничково-моховые; травяно-моховые торфянистые) | Максимальное (Кустарничково-зеленомошные; травяно-моховые, торфяные) |
| Самовосстановление растительности после нарушений | V | Быстрое 2-4 года (болотные и луговые сообщества; пойменный эфемеретум) | Среднее 4-8 лет (кустарничково-кустарниковые, травяно-моховые сообщества) | Медленное 8-14 лет (кустарничково-моховые и кустарниковые сообщества) | Длительное, или неполное 14 лет и более (мохово-лишайниковые сообщества) |

Площади группы устойчивых ПТК равна 33,5% . К устойчивым ландшафтам на Гыдане относятся комплексы пляжей и пойменных болот с хорошим промывным режимом, где могут развиваться при нарушении в основном русловые процессы, заболачивание и дефляция[1]. В случае осуществления хозяйственной деятельности (строительство, добыча полезных ископаемых и т.д.) на этих участках развитие экзогенных процессов минимально.

ГИС-анализ итоговой карты выявил закономерность снижения литокриогенной устойчивости ландшафтов в арктической тундре Гыдана – от пойменных заболоченных комплексов к заовраженным дренированным сильнольдистым склонам междуречий.

Благодарности. Работа поддержана г/б программой «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» .

Литература

1. Зотова Л.И., Донецков А.А. Литокриогенная устойчивость тундровых ландшафтов: факторы, оценка, картографирование /Сборник докладов Шестой конференции геокриологов России «Мониторинг в криолитозоне». МГУ имени М.В. Ломоносова, 14–17 июня 2022 г., место издания , с. 171-177.
2. Тумель Н.В. Геоэкология криолитозоны: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / Н. В. Тумель, Л.И. Зотова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 220 с.
3. Tumel, N.; Zotova, L. Diagnostics and Mapping of Geocological Situations in the Permafrost Zone of Russia. Geosciences 2019, 9, 353. <https://doi.org/10.3390/geosciences9080353>
4. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта потенциальной устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири./ Вестник Моск.ун-та,сер.5 «География»1994,1: 56-65.