

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ КРИОГЕННЫХ ОПОЛЗНЕЙ СКОЛЬЖЕНИЯ В ТУНДРЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЯМАЛА

А.В. Хомутов^{1,2}, М.О. Лейбман^{1,2}

¹Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия; akhomutov@gmail.com

²Тюменский государственный университет, 625000, Тюмень, ул. Володарского, 6, Россия

Представлены результаты оценки опасности проявления криогенных оползней скольжения в различных ландшафтах Центрального Ямала. Рассмотрена степень поражения природно-территориальных комплексов криогенным оползанием, определяемая относительной площадью поражения наиболее молодыми оползнями. Чем больше площадь, затронутая современными оползнями скольжения в пределах природно-территориальных комплексов, тем более чувствителен такой природно-территориальный комплекс к возможному проявлению криогенных оползней. Однако вероятность возникновения криогенных оползней скольжения в таких природно-территориальных комплексах высока лишь на участках, не затронутых современным оползанием, поскольку по нашим данным на месте современных оползней повторение оползневого процесса в ближайшие столетия маловероятно. Анализ ландшафтной дифференциации территории показал, что все современные криогенные оползни скольжения приурочены к вогнутым склонам. Степень поражения современным криогенным оползанием отличается в одних и тех же природно-территориальных комплексах, находящихся на разных геоморфологических уровнях, и возрастает при продвижении от более низких уровней к более высоким. В пределах ключевого участка выделены пять групп природно-территориальных комплексов в зависимости от оцениваемой вероятности возникновения криогенных оползней скольжения. Метод экспертной оценки вероятности возникновения криогенных оползней скольжения базируется на выделении факторов, в разной степени благоприятствующих этому процессу, исходя из механизмов его активизации, на чувствительности природно-территориальных комплексов к криогенному оползанию, а также на степени поражения территории наиболее поздними криогенными оползнями скольжения.

Криогенное оползание, криогенные оползни скольжения, ландшафтная карта, степень поражения современным оползанием, карта оползневой опасности

RATING OF CRYOGENIC TRANSLATIONAL LANDSLIDING HAZARD IN TUNDRA OF CENTRAL YAMAL

A.V. Khomutov^{1,2}, M.O. Leibman^{1,2}

¹Earth Cryosphere Institute, SB RAS, 625000, Tyumen, P/O box 1230, Russia; akhomutov@gmail.com

²University of Tyumen, 625000, Tyumen, Volodarskogo str., 6, Russia

Results of cryogenic landsliding hazard rating in different landscapes of Central Yamal are presented. Authors consider the degree of impact applied to landscape complexes by cryogenic landsliding to be determined by the relative area of the youngest landslide impact. The greater the area affected by modern landslides within the landscape complex, the more sensitive is this landscape complex to possible activation of cryogenic landslides. However, locations disturbed by the latest translational landslides within a landscape unit are considered non-hazardous because, according to our findings, the re-occurrence of landsliding on such locations in coming centuries is unlikely. Analysis of a landscape pattern shows that all modern cryogenic translational landslides are located on concave slopes. Modern landsliding impact differs within the same landscape complexes appearing on different geomorphic levels of Central Yamal. Generally, this impact increases from low to high geomorphic levels. Landscape complexes are associated into 5 groups according to rated cryogenic translational landsliding hazard degree. Expert evaluation of a landslide hazard is based on detection of landscape conditions more or less favorable for cryogenic landsliding and on the latest cryogenic translational landslide impact.

Cryogenic landsliding, cryogenic translational landslides, landscape map, modern landsliding impact, map of the landslide hazard

ВВЕДЕНИЕ

Криогенное оползание является наиболее активным рельефообразующим процессом в районах широкого распространения пластовых льдов [Лейбман, 2004].

Методическая основа изучения активных рельефообразующих процессов в специфических арктических ландшафтах криолитозоны проработана в публикациях К.Р. Бурна [Burn, Lewkowicz,

1990; Burn, Zhang, 2009], К.А. Ермохиной [2009], К. Харриса [Harris, Lewkowicz, 1993], А.И. Кизякова [2005; Кизяков и др., 2006], М.О. Лейбман [1997, 2001, 2005; Лейбман, Кизяков, 2007; Leibman, 1995], А.Г. Левковича [Lewkowicz, 1988], Е.С. Мельникова [Мельников и др., 1974, 2005; Ландшафты, 1983], Н.Г. Москаленко [2003, 2006], О.В. Ребристой [Ребристая и др., 1995], И.Д. Стрелецкой [Стрелецкая, Лейбман, 2002], Н.Г. Украинцевой [Украинцева и др., 1992; Ukraintseva et al., 2000, 2003], В.Д. Васильевской [Васильевская и др., 2004].

Криогенные оползни на севере Тюменской области наиболее распространены в зоне типичных тундр (центральные части полуостровов Ямал и Гыданский), где площади, занятые ландшафтами с благоприятными для криогенного оползания условиями, наибольшие. Развитию оползневому процессу здесь способствуют: наличие залежей пластовых льдов, сплошное распространение многолетнемерзлых пород (ММП), значительная расчлененность рельефа, связанная с распространением как пластовых, так и полигонально-жильных льдов. Изучены закономерности активизации криогенного оползания этого региона под влиянием техногенных нагрузок [Губарьков, 2009].

Наиболее опасным типом неустойчивости считается развитие криогенного оползания на участках склонов с неглубоким залеганием пластовых подземных льдов (криогенные оползни течения с формированием термоцирков), поскольку такие склоны могут активизироваться даже при незначительном увеличении летней температуры воздуха и минимальном техногенном воздействии [Лейбман, Кизяков, 2007; Burn, Zhang, 2009].

По сравнению с участками распространения пластовых льдов, менее чувствительными к оползневому воздействию являются склоны с сезонными подземными льдами, которые образуются в основании сезонноталого слоя (СТС) при определенном сочетании климатических факторов за несколько лет [Лейбман, 1997]. На отдельных участках криогенное оползание по таким льдам (криогенные оползни скольжения) может повторяться один раз в сотни лет [Leibman et al., 2003].

Для определения рисков от проявления оползневых процессов используются как качественные оценки опасности их проявления [Казиков, Генсиоровский, 2008], основанные на определении участков с разным характером проявления оползней, так и количественные [Чехина и др., 2004] с применением балльной системы определения вероятности схода оползней. Для противооползневой защиты при строительстве проводится оценка оползневой обстановки с использованием качественных и количественных методов, включающих описания геоморфологических, геологических, инженерно-геологических, гидрогео-

логических условий, инженерно-геологические разрезы оползней, картирование проявлений оползневому процессу по натурным и аэрокосмическим материалам, фактические данные измерений и геофизических исследований в районах проявления оползней [Постоев и др., 2008].

За период после катастрофической активизации криогенного оползания на Ямале в 1989 г. (см. фотографию на обложке) в полустационарных условиях изучены криогенные оползни, выявлена их морфология, распространение, приуроченность к определенным ландшафтным, геоморфологическим и литологическим комплексам [Лейбман 1997, 2004, 2005; Лейбман, Кизяков, 2007; Leibman, 1995; Leibman et al., 2003]. Исследованы особенности почвенного и растительного покровов на оползневых склонах, связанные с криогенным оползанием [Ребристая и др., 1995; Лейбман, 1997; Leibman, Streletskaia, 1997; Ukraintseva et al., 2003]. Проанализировано распространение оползневых процессов на территории Бованенковского газоконденсатного месторождения с использованием ГИС-технологий и методов ландшафтной индикации [Лейбман и др., 1997; Дроздов, Украинцева, 2000; Украинцева и др., 2005]. В дальнейшем результаты экстраполированы на территорию всей типичной тундры севера Западной Сибири [Ukraintseva, 2008].

Для изучаемой территории одна из первых методик оценки потенциальной опасности развития криогенного оползания в составе склоновых криогенных процессов разработана Н.Г. Украинцевой [Украинцева и др., 1992]. Эта методика заключается в применении качественного, экспертного подхода, базирующегося на анализе изменения характера проявления склоновых процессов по площади Бованенковского месторождения. Метод экспертной оценки предлагается как вид быстрого анализа и альтернатива расчетным способам, представленным в работах [Гарагуля, Пармузин, 1980; Методические рекомендации, 1981; Геокриология, 1989] и требующим длительных специальных стационарных наблюдений.

Примененная для оценки опасности проявления экзогенных геологических процессов на Центральном Ямале методика балльной экспертной оценки Л.И. Зотовой [2010, 2011] отличается учетом всех характеристик, влияющих на опасность проявления криогенных процессов с использованием "центров качества" по Ю.Г. Симонову [1997].

К.А. Ермохина [2009; Ермохина, Мяло, 2013] провела оценку вероятности активизации оползневому процессу на Ямале путем установления индикационных связей растительности и экзогенных процессов. В основе ее оценки лежат различия в степени сформированности растительности на разных стадиях эколого-динамических рядов сообществ оползневых склонов.

Возникла необходимость разработки методики оценки оползневой опасности, которая обеспечит более широкое применение данных дистанционного зондирования на основе выявленных ранее закономерностей развития криогенного оползания и приуроченности современных оползней к определенным геоморфологическим и ландшафтным условиям.

РАЙОН РАБОТ

Оползневые процессы исследованы на ключевом участке “Васькины Дачи”, расположенном на Центральном Ямале на междуречье Сеяхи и Мордыахи (рис. 1) в зоне сплошного распространения низкотемпературных ММП.

Район работ представляет собой холмисто-увалистую равнину с узкими водоразделами и длинными пологими склонами. Наибольшие высоты (до 58 м) приурочены к уплощенным вершинам останцов салехардской равнины. Территория интенсивно расчленена узкими долинами рек и малых водотоков, оврагами и балками, озерами и хасыреями. Развитие оврагов определяется амплитудой рельефа, поэтому наиболее протяженные овраги тяготеют к высоким геоморфологическим уровням. Глубина расчленения казанцевской и салехардской равнин достигает 40–50 м. Около 60 % территории занято пологими склонами крутизной до 7°, склоны крутизной от 7 до 50° занимают около 10 % площади, а оставшиеся 30 % приходятся на вершинные части увалов, поймы рек и озера [Leibman et al., 2003].

Активное развитие склоновых процессов характерно для останцов морских террас, сложенных высокольдистыми породами с залежами пластовых льдов. На склонах с залегающими вблизи поверхности пластовыми льдами развиваются термоцирки, по мере выработки пластового льда переходящие в стадию оползневых цирков [Leibman, 2005].

В соответствии с геоботаническим районированием ключевой участок “Васькины Дачи” расположен в подзоне мохово-лишайниковых (типичных) [Полуостров Ямал, 1975] или субарктических [Растительный покров..., 1985] тундр. Согласно Циркумполярной арктической карте растительности [Walker et al., 2005], территория относится к биоклиматической подзоне D.

На водоразделах широко распространен густой низкорослый ерник. Дренированные склоны водораздельных поверхностей заняты кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами. На пологих слабодренированных склонах по сравнению с дренированными преобладают мхи и лучше развиты кустарники и кустарнички, на выпуклых вершинах и сильно обдуваемых склонах холмов преобладают пятнистые кустарничково-мохово-лишайниковые тундры [Полуостров Ямал, 1975].

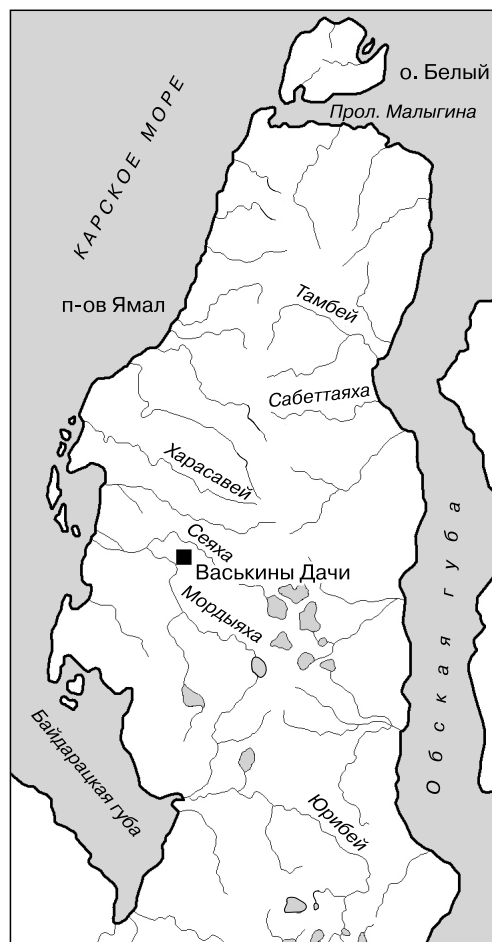


Рис. 1. Местоположение ключевого участка “Васькины Дачи”.

Для речных долин, днищ термоцирков и оползневых цирков, где зимой устанавливается довольно мощный снежный покров, характерны тундровые ивняки, высота которых контролируется мощностью снежного покрова [Leibman, 2004; Dvornikov et al., 2015]. На вогнутых поверхностях междуречий и террас, на низких берегах озер, в тыловых частях долин рек и других понижениях широко распространены осоковые, сфагновые болота и плоскобугристые торфяники.

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ

В работе предлагается методика оценки оползневой опасности, основывающаяся на разработанных ранее концептуальных моделях криогенного оползания [Leibman, 2005] и ландшафтной дифференциации территории с дешифрированием аэрофото- и космоснимков [Хомутов, 2010]. Наибольшее внимание уделяется подробным данным о наиболее поздних и многочисленных криогенных оползнях скольжения, сошедших в 1989 г.

Таблица 1. Характеристика природно-территориальных комплексов (ПТК) ключевого участка “Баськины Дачи”

Индекс ПТК	Название ПТК	Площадь (% от общей) степень поражения КОС 1989 г. (% от площади ПТК)				
		Геоморфологические уровни				
		V	IV	III	II	I
1	2	3	4	5	6	7
<i>Относительно дренированные ПТК</i>						
1	Пологохолмистые субгоризонтальные водораздельные поверхности (выпуклые вершины холмов и их склоны) с полигональными кустарничково-травяно-лишайниковыми тундрами с раздувами на песках и супесях, местами с травяно-кустарничково-моховыми тундрами на супесях и суглинках	4.1/3.6	6.0/2.9	1.4/6.2	–	–
2	Плоские субгоризонтальные водораздельные поверхности с мелкобугорковатыми травяно-кустарничково-мохово-лишайниковыми и кочковатыми кустарничково-травяно-моховыми тундрами на супесях и суглинках (местами с раздувами)	0.4/0.0	2.3/0.2	0.9/1.5	–	–
3	Плоские субгоризонтальные водораздельные поверхности с травяно-кустарничково-моховыми тундрами на супесях и суглинках, с участками полигональных травяно-кустарничково-лишайниково-моховых тундр на песках и супесях	1.8/8.0	10.1/0.6	1.2/0.0	–	–
4	Плоские субгоризонтальные водораздельные поверхности с бугорковато-кочковатыми кустарничково-травяно-моховыми тундрами на супесях и суглинках	5.9/7.4	1.3/0.6	0.4/0.0	0.2/0.0	–
5	Краевые части плоских субгоризонтальных поверхностей с мелкобугорковатыми полигональными травяно-кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами на супесях (местами с раздувами)	–	–	–	0.1/0.0	–
6	Полигональные субгоризонтальные водораздельные поверхности с плоскобугристыми моршкovo-осоково-лишайниково-сфагновыми торфяниками на оторфованных супесях, суглинках и торфе	–	0.1/0.0	0.1/0.0	–	–
<i>Слабодренированные ПТК</i>						
7	Плоские слабонаклонные поверхности с травяно-мохово-кустарничковыми тундрами на супесях и суглинках (местами на глинах)	–	1.4/0.0	0.7/0.0	0.6/0.0	–
8	Плоские пологие склоны с кочковатыми разнотравно-злаково-моховыми ивняками с участком ерника на суглинках и глинах	0.4/0.0	9.3/0.0	0.6/0.0	0.5/0.0	–
9	Плоские пологие склоны с кочковатыми кустарничково-осоково-сфагновыми сообществами на супесях и суглинках	0.5/20.5	7.1/1.2	–	–	–
10	Вогнутые пологие оползневые склоны с поверхностями скольжения древних оползней с разнотравно-злаковыми ивняками на суглинках и засоленных глинах	4.3/15.9	9.0/0.7	1.3/4.1	–	–
<i>Переувлажненные ПТК</i>						
11	Вогнутые субгоризонтальные поверхности с кустарничково-осоково-сфагновыми и травяно-моховыми болотами на оторфованных супесях и суглинках (с фрагментами плоскобугристых торфяников)	–	0.6/0.0	0.4/0.0	3.0/0.0	–
12	Плоские субгоризонтальные поверхности с травяно-моховыми болотами на супесях и суглинках	–	0.1/0.0	–	1.9/0.0	–
<i>Периодически переувлажненные интразональные ПТК</i>						
13	Плоские и вогнутые поверхности днищ хасыреев с преимущественно кустарничково-лишайниковыми сообществами на более дренированных участках с оторфованными супесями и торфом, пушицево-осоково-моховыми ивняками и кустарничково-осоково-сфагновыми болотами на менее дренированных участках с оторфованными суглинками и торфом	–	2.5/0.0	0.6/0.0	0.2/0.0	–
14	Плоские и вогнутые поверхности низких озерных террас с кочковатыми осоково-моховыми сообществами на оторфованных супесях и суглинках	–	1.1/0.0	0.1/0.0	–	–
15	Плоские тыловые части поймы с кочковатыми осоково-моховыми и осоково-сабельниково-моховыми сообществами на суглинках и глинах	–	–	–	–	0.2/0.0

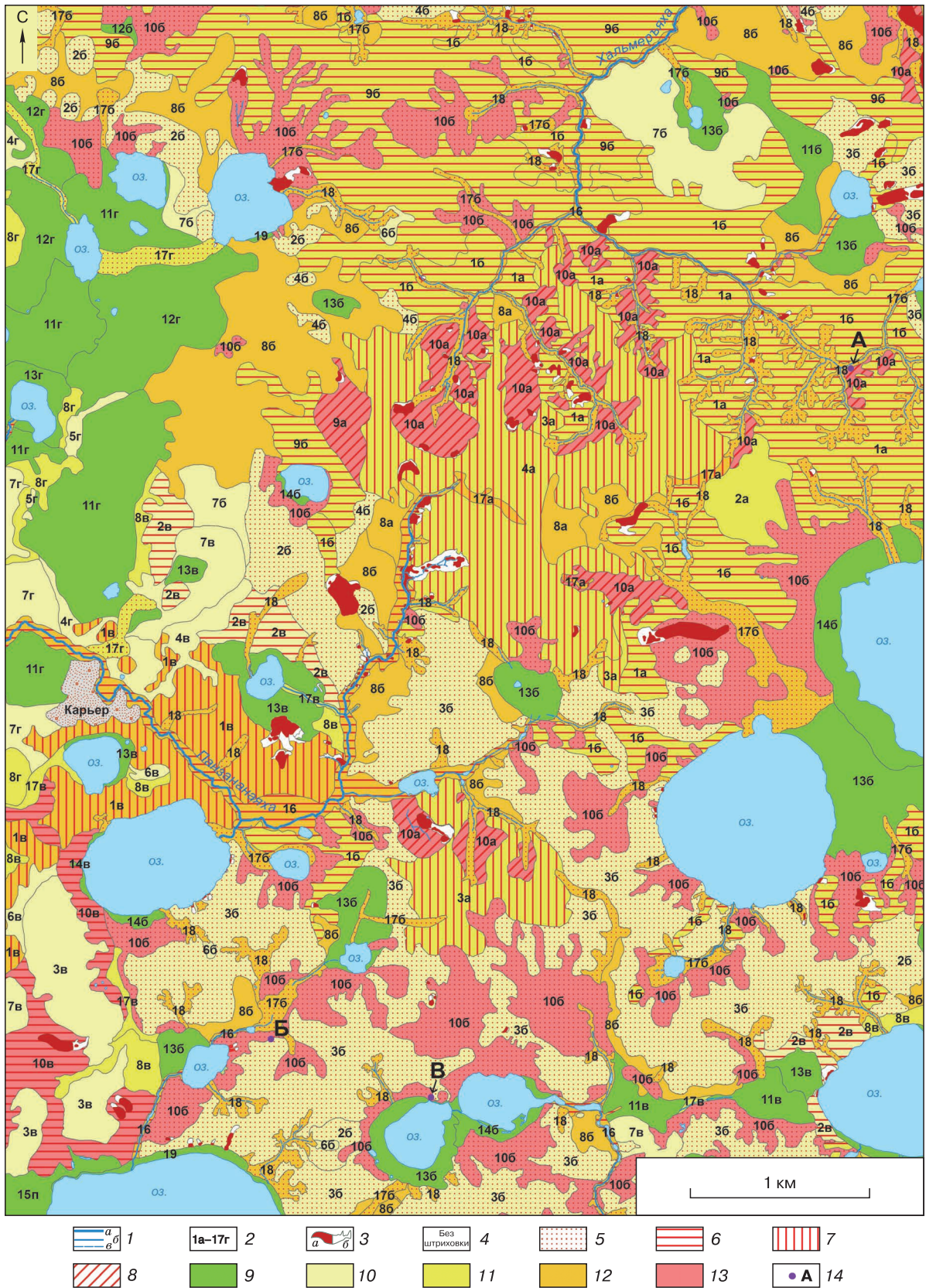


Рис. 2. Карта дифференциации природно-территориальных комплексов (ПТК) по степени поражения современным криогенным оползанием (чувствительности ПТК) и оползневой опасности на ключевом участке “Васькины Дачи”.

1 – гидрографическая сеть: а – малые реки, б – мелкие водотоки, в – временные водотоки; 2 – индексы ПТК (см. табл. 1); 3 – криогенные оползни скольжения 1989 г.: а – тело, б – поверхность скольжения; степень поражения современным криогенным оползанием: 4 – не поражены (0%), 5 – слабая (0–1%), 6 – средняя (1–5%), 7 – высокая (5–10%), 8 – очень высокая (10% и более); оползневая опасность: 9 – невозможная, 10 – минимальная, 11 – средняя, 12 – значительная, 13 – максимальная; 14 – объекты проявления криогенного оползания в 2012–2013 гг. (А, Б, В).

которые напрямую или косвенно могут повлиять на вероятность схода криогенного оползня скольжения.

С целью оценки степени поражения современными оползнями были выделены 19 ПТК (см. табл. 1; рис. 2) на разных элементах рельефа, соответствующих определенной совокупности форм поверхности и растительных ассоциаций. В пределах этих ПТК оценены площадь и количество современных оползней.

Все оползни были объединены в три группы в зависимости от площади (км^2): менее 0.002; 0.002–0.01; более 0.01. Принадлежность криогенных оползней к тому или иному ПТК определялась следующим образом. Оползень считается отнесенным к тому ПТК, с поверхности которого непосредственно сошло тело оползня, начиная с верхней точки стенки отрыва блоков, даже при условии, что контур этого ПТК непосредственно граничит только с поверхностью скольжения оползня, а тело оползня остановилось в пределах соседнего ПТК.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Степень поражения современными оползнями. На ключевом участке “Васькины Дачи” наиболее крупные оползни скольжения площадью более 0.01 км^2 (до 0.08 км^2) встречаются на протяженных, пологих, вогнутых оползневых склонах с поверхностями скольжения древних оползней, а также на слабонаклонных участках дренированных субгоризонтальных водораздельных поверхностей.

Оползни площадью 0.002–0.01 км^2 встречаются во всех ПТК, но наиболее часто приурочены к древним закустаренным оползневым склонам. Единичные оползни такого размера встречены в верхних частях относительно дренированных субгоризонтальных водораздельных поверхностей с кочковато-бугорковатыми тундрами, в ложбинах

стока, на бортах оврагов, балок и долин малых водотоков.

Небольшие оползни площадью менее 0.002 км^2 широко распространены на крутых бортах оврагов и долин малых водотоков и часто приурочены к границам этих ПТК с краевыми частями плоских и пологохолмистых водоразделов, в которые врезаны овраги и долины водотоков. Нередко такие оползни тяготеют к краям относительно дренированных субгоризонтальных поверхностей, непосредственно примыкающих к озерным котловинам.

Степень поражения современным криогенным оползанием различна в одних и тех же ПТК, находящихся на разных геоморфологических уровнях: V морской равнине, IV прибрежно-морской равнине, III аллювиально-морской равнине, II надпойменной террасе и в пойме р. Мордыяха. Природно-территориальные комплексы с разной степенью поражения криогенными оползнями (сошедшими в 1989 г.), рассчитанной в процентах (см. табл. 1), были объединены в пять групп (табл. 2; рис. 2, усл. обозн. 4–8). В целом степень поражения современным криогенным оползанием (чувствительность ПТК) увеличивается при продвижении от низких геоморфологических уровней (II надпойменная терраса, III аллювиально-морская равнина) к более высоким (IV прибрежно-морская и V морская равнины).

Наибольшая степень поражения у вогнутых/пологих оползневых склонов (10*) и плоских пологих склонов с кочковатыми кустарниково-осоково-сфагновыми сообществами (9) на V морской равнине. В этих ПТК площадь, затронутая оползнями, сошедшими в 1989 г., наибольшая: 16 и 20 % соответственно.

Высокая степень поражения современными оползнями наблюдается на плоских водораздельных поверхностях с кустарниково-моховыми тундрами (3), с бугорковато-кочковатыми тундра-

Таблица 2. Группы природно-территориальных комплексов (ПТК) по степени поражения современным криогенным оползанием (чувствительности ПТК) и дифференциация ПТК по оползневой опасности на ключевом участке “Васькины Дачи”

Чувствительность	Оползневая опасность				
	невозможная	минимальная	средняя	значительная	максимальная
Не поражены (0 %)	11бвг, 12бг, 13бвг, 14бв, 15п, 19	3в, 4вг, 5г, 6бв, 7бвг	2а, 8вг, 17в	8аб	–
Слабая (0–1 %)	–	2б–4б	17г	17б, 18	10б
Средняя (1–5 %)	–	2в	1аб, 9б	16	10в
Высокая (5–10 %)	–	–	3а, 4а	1в, 17а	–
Очень высокая (>10 %)	–	–	–	–	9а, 10а

* Здесь и далее в скобках даются индексы ПТК согласно табл. 1.

ми (4) и в ложбинах стока (14) на V морской равнине, а также на пологохолмистых поверхностях (1) III аллювиально-морской равнины. Средней степенью поражения современным оползанием отличаются пологохолмистые поверхности (1) на V морской и IV прибрежно-морской равнинах и плоские водораздельные поверхности с бугорковато-кочковатыми тундрами (2) на III аллювиально-морской равнине из-за наличия оползней на границах этих ПТК с оврагами, долинами малых водотоков и глубокими озерными котловинами. Долины водотоков (16), несмотря на достаточно большое количество мелких оползней, тоже характеризуются средней степенью поражения современным криогенным оползанием, так же как и вогнутые оползневые склоны (10) на III аллювиально-морской равнине и плоские пологие склоны (9) на IV прибрежно-морской равнине. Овражно-балочная сеть, включающая днища и крутые склоны (18), характеризуется слабой степенью поражения современными оползнями, так как площадь мелких оползней, распространенных на крутых бортах оврагов, незначительна. На II надпойменной террасе лишь ложбины стока (17) имеют слабую степень поражения современным оползанием за счет единичного оползня, сошедшего в озерную котловину в результате подрезки поверхности колеи, используемой для проезда. Все остальные ПТК в пределах всех уровней не подвержены современному оползанию.

Степень поражения любого из выделенных ПТК современным оползанием не превышает 20 %, значит свободные от современных оползней поверхности, которые в ближайшем будущем могут подвергнуться криогенному оползанию, составляют от 80 до 100 % площади каждого ПТК. На поверхностях, подвергшихся современному оползанию, развитие криогенных оползней скольжения в ближайшие 300 лет маловероятно [Лейбман, Кизяков, 2007]. Это определяется недостаточным сроком для формирования переходного слоя, т. е. высокольдистого горизонта [Шур, 1988], на подошве СТС в пределах поверхностей скольжения современных оползней. Кроме того, не сформированы специфические механические свойства пород СТС, обусловленные двухсторонним промерзанием [Lewkowicz, 1988], а активная термоэрозия обеспечивает дренаж избыточной влаги, необходимой для формирования оползня [Лейбман, Кизяков, 2007].

Оценка оползневой опасности. Природно-территориальные комплексы, пораженные современными оползнями, считаются тем более чувствительными к оползанию, чем больше в их пределах площадь, затронутая оползневым процессом. Наиболее опасными с точки зрения возможной активизации оползневого процесса являются участки чувствительных ПТК, на которых отсутствуют современные оползни. Согласно этому

принципу, на основе анализа распределения криогенных оползней скольжения 1989 г. в пределах разных ПТК и геоморфологических уровней, 19 ПТК были разделены на пять групп по степени возможного проявления криогенного оползания (оползневой опасности, см. табл. 2; рис. 2, усл. обозн. 9–13): невозможной, минимальной, средней, значительной и максимальной. При разделении на группы учитывались геоморфологические условия, уклон поверхности, дренированность, микрорельеф, характер растительного покрова и оползневая активность в прошлом.

Максимальная опасность криогенного оползания сохраняется на вогнутых закустаренных склонах (10) всех геоморфологических уровней. Опасность формирования крупных оползней на плоских закустаренных/частично закустаренных склонах (8, 9) повышается при продвижении от низких геоморфологических уровней к высоким. Опасность формирования мелких криогенных оползней скольжения на условно горизонтальных поверхностях (1–4) растет при увеличении расчлененности овражно-балочной сетью и долинами малых водотоков независимо от геоморфологического уровня.

ДИСКУССИЯ

Существующие и примененные на Центральном Ямале методы оценки оползневой опасности носят качественный или полуквантитативный характер. Так, Н.Г. Украинцева [Украинцева и др., 1992] выделяет на карте типы районов и участков (в ранге ландшафта и местности), характеризует в их пределах развитие современных процессов, в том числе криогенного оползания, по результатам полевых съемок и экспертным путем с использованием анализа ландшафтной структуры и инженерно-геокриологических условий. Ее карты, составленные в масштабе 1:100 000, охватывают поверхности III аллювиально-морской равнины и речных террас. Прогноз активизации склоновых процессов в будущем основан на анализе современного распространения процессов: чем шире и равномернее развиты процессы, тем опасней территория. Такой метод не учитывает наши результаты, которые свидетельствуют о том, что на одном месте криогенные оползни могут повториться только через несколько сотен лет, за исключением участков с близким залеганием к поверхности пластовых льдов. Метод, предложенный Н.Г. Украинцевой, был разработан и опробован для территории Бованенковского месторождения, где был получен хороший результат из-за преобладания там более низких геоморфологических уровней (от III аллювиально-морской равнины до поймы р. Сеяха) и слабой расчлененности рельефа.

Балльная оценка Л.И. Зотовой [2010, 2011] при учете всех характеристик, влияющих на опас-

ность проявления криогенных процессов, не обнаруживает степень опасности конкретного процесса. В итоге высокая опасность проявления криогенных процессов определяется на поверхностях, пораженных криогенными процессами, уже более чем на 60 %. Это может быть справедливо для опасности проявления комплексной деструкции по пластовым льдам, но не для криогенных оползней скольжения.

К.А. Ермохина [2009] оценивает вероятность повторения оползневой процесса по степени восстановления растительного покрова на склонах морских террас, многократно переработанных оползневыми процессами. Ее методы подходят только для таких склонов и не применимы для остальных поверхностей.

К югу от Бованенковского месторождения в районе ключевого участка “Васькины Дачи”, где рельеф сложнее, геоморфологические уровни выше, залегание пластовых льдов, как правило, глубже, антропогенное влияние менее выражено, необходим другой подход к оценке оползневой опасности, который и предлагается в настоящей работе. В данный метод, кроме учета общепринятых закономерностей активизации криогенного оползания, включен количественный анализ распространения процесса по территории, что ста-

ло возможным благодаря долговременным детальным полевым исследованиям распространения криогенных оползней и различных механизмов их формирования [Leibman, 1995; Leibman et al., 2003; Khomutov, Leibman, 2010].

На карте чувствительности ПТК (см. рис. 2) штриховкой показано поражение ландшафтных единиц современными оползнями. Авторы предположили, что чем выше степень поражения, тем чувствительнее ландшафт к криогенному оползанию, но только на участках, свободных от современных оползней скольжения. При сопоставлении карты оползневой опасности (см. рис. 2) с прогнозными картами Н.Г. Украинцевой [Украинцева и др., 1992] и К.А. Ермохиной [2009] установлено, что площадь потенциально оползнеопасных участков существенно не различается. Однако на предлагаемой карте территория была более детально дифференцирована по степени возможной активизации криогенного оползания, чему способствовало совмещение более длительных и детальных полевых исследований с интерпретацией дистанционных данных высокого пространственного разрешения. В течение полевого сезона 2012 г. был описан криогенный оползень скольжения (рис. 3, а), а также криогенный оползень течения (см. рис. 3, б) и термоцирк (см. рис. 3, в), кото-



Рис. 3. Объекты проявления криогенного оползания в 2012–2013 гг.

а – криогенный оползень скольжения на борту оврага (А, см. на рис. 2), 2012 г.; б – криогенный оползень течения на границе водораздела и вогнутого склона (Б), 2012 г.; в – термоцирк, образовавшийся в 2012 г. (В), 2013 г. Фото А.В. Хомутова.

рые, по предположению авторов, изначально были сформированы криогенными оползнями скольжения. Криогенный оползень А (см. рис. 2) образовался на крутом склоне оврага (18), а верхняя часть поверхности скольжения относится к вогнутому оползневному склону (10). Криогенный оползень Б (см. рис. 2) начинается на плоской субгоризонтальной водораздельной поверхности (3) вблизи границы с вогнутым склоном с ивняком (10). Термоцирк В (см. рис. 2) также активизировался в пределах вогнутого закустаренного склона (10), а в 2013 г. произошел его врез в субгоризонтальную водораздельную поверхность (3). Таким образом, все описанные в 2012 г. объекты проявления криогенного оползания происходили в ПТК, отнесенных к группе с максимальной оползневой опасностью, что подтверждает применимость предложенного метода.

ВЫВОДЫ

Метод оценки оползневой опасности основывается на количественном анализе и экспертной оценке распространения современных криогенных оползней и их параметров в разных ПТК.

Степень поражения ПТК современным оползанием определяет их чувствительность к возможной активизации процесса в зависимости от того, какую площадь занимают измененные современным оползанием поверхности. Для ПТК с высокой чувствительностью оползневая опасность велика только на участках, свободных от современных оползней.

Участки ПТК, пораженные современным оползанием, в ближайшем будущем не опасны с точки зрения повторения оползневых процессов, так как в основании “нового” СТС еще не возникли специфические условия для формирования горизонта сильнольдистых пород – основной предпосылки для возникновения криогенных оползней скольжения.

В результате применения рассмотренного метода оценки оползневой опасности выявлено следующее:

- на всех геоморфологических уровнях, за исключением II надпойменной террасы и поймы р. Мордыаха, сохраняется очень высокая опасность активизации криогенного оползания на вогнутых закустаренных склонах;

- опасность схода крупных оползней повышается при продвижении от низких геоморфологических уровней к высоким на плоских/вогнутых пологих, полностью либо частично закустаренных склонах. Вероятность схода мелких оползней на условно горизонтальных поверхностях выше в ПТК с большей расчлененностью овражно-балочной сетью и долинами водотоков независимо от геоморфологического уровня.

Исследованные ландшафты характерны для всей типичной тундры Центрального Ямала. Поэтому полученные результаты могут быть использованы в других районах (в том числе в районах перспективного освоения) с широким распространением подземных пластовых льдов и кустарниковых тундр (индикаторов продолжающегося со времени позднего голоцена развития опасных склоновых процессов) к северу от р. Юрибей.

Применение метода оценки оползневой опасности с использованием анализа степени поражения территории современным оползанием, основанного на ландшафтном подходе, является достаточно эффективным и нетрудоемким. При наличии космических снимков высокого разрешения на интересующую территорию, описанный в нашей работе метод легко применим при минимальных наземных исследованиях, необходимых в большей степени для уточнения местных особенностей дешифрирования элементов рельефа и растительного покрова, для создания ландшафтной карты как основы исследования. Совмещение предлагаемого ландшафтного метода с методикой фитоиндикации, описанной К.А. Ермохиной [2009], несомненно, даст наиболее точный прогноз развития оползневых процессов, но будет связано с более детальными наземными исследованиями.

Работа выполнена в рамках интеграционных проектов СО РАН (№ 122 и 144), при финансовой поддержке Департамента образования и науки Тюменской области (грант № 583-ДОН), РФФИ (проект 13-05-91001-АНФ_а) и Совета по грантам Президента Российской Федерации для ведущих научных школ (НШ-3929.2014.5).

Литература

- Баулин В.В.** Геокриологические (мерзлотные) условия Западно-Сибирской низменности / В.В. Баулин, Е.Б. Белопухова, Г.И. Дубиков, Л.М. Шмелев. М., Наука, 1967, 214 с.
- Васильевская В.Д., Григорьев В.Я., Погожева Е.А.** Показатели устойчивости, деградации и самовосстановления почвенно-растительного покрова тундр // Криосфера Земли, 2004, т. VIII, № 1, с. 53–63.
- Гарагуля Л.С., Пармузин С.Ю.** Признаки оценки устойчивости территории к изменениям природных факторов и техногенным воздействиям в области вечной мерзлоты // Мерзлотные исследования. М., Изд-во Моск. ун-та, 1980, вып. 19, с. 53–58.
- Геокриология СССР.** Западная Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Недра, 1989, 454 с.
- Губарьков А.А.** Взаимосвязь гидрологических и криогенных процессов в бассейнах малых рек и на побережье Карского региона: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2009, 16 с.
- Губарьков А.А., Лейбман М.О.** Четкообразные русловые формы в долинах малых рек на Центральном Ямале – результат парагенеза криогенных и гидрологических процессов // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 1, с. 41–49.
- Дроздов Д.С., Украинцева Н.Г.** Карта природных геосистем Бованенковского месторождения: Ландшафтная карта.

- М-6 1 : 100 000 / Под ред. Е.С. Мельникова. Тюмень, ИКЗ СО РАН, 2000.
- Ермохина К.А.** Фитоиндикация экзогенных процессов в тундрах Центрального Ямала: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2009, 24 с.
- Ермохина К.А., Мяло Е.Г.** Фитоиндикационное картографирование оползневых нарушений на Центральном Ямале // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013, вып. 5, с. 141–148.
- Зотова Л.И.** Экспертная оценка опасности хозяйственного освоения по “центрам качества” в прикладных геокриологических и гляциологических исследованиях // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве РФ: Материалы V Общерос. конф. изыск. организаций. М., ПНИИИС, 2010, с. 96–99.
- Зотова Л.И.** Теоретические и прикладные аспекты экспертной геоэкологической оценки опасности хозяйственного освоения в рамках новой образовательной программы // Материалы 4-й конф. геокриологов России (7–9 июня 2011 г.). М., Изд-во Моск. ун-та, 2011, т. 3, с. 224–231.
- Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В.** Экзогенные геодинамические и русловые процессы в низкогорье о. Сахалин как факторы риска для нефтегазопроводов “Сахалин-2” // Геоэкология. Инж. геология, гидрогеология, геокриология, 2008, № 6, с. 483–496.
- Кизяков А.И.** Динамика термоденудационных процессов на побережье Югорского полуострова // Криосфера Земли, 2005, т. IX, № 1, с. 63–67.
- Кизяков А.И., Лейбман М.О., Передня Д.Д.** Деструктивные рельефообразующие процессы побережий Арктических равнин с пластовыми подземными льдами // Криосфера Земли, 2006, т. X, № 2, с. 79–89.
- Ландшафты** криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Отв. ред. Е.С. Мельников. Новосибирск, Наука, 1983, 165 с.
- Лейбман М.О.** Криолитологические особенности сезонноталого слоя на склонах в связи с процессом криогенного оползания // Криосфера Земли, 1997, т. I, № 2, с. 50–55.
- Лейбман М.О.** Динамика слоя сезонного оттаивания пород и методика измерения его глубины в различных ландшафтах Центрального Ямала // Криосфера Земли, 2001, т. V, № 3, с. 17–24.
- Лейбман М.О.** Механизмы и стадии развития склоновых криогенных процессов западного сектора Арктики // Материалы XXVIII Пленума Геоморфологической комиссии “Рельефообразующие процессы: теория, практика, методы исследования”. Новосибирск, 2004, с. 160–162.
- Лейбман М.О.** Криогенные склоновые процессы и их геоэкологические последствия в условиях распространения пластовых льдов: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Тюмень, 2005, 48 с.
- Лейбман М.О.** Криогенные оползни Ямала и Югорского полуострова / М.О. Лейбман, А.И. Кизяков. М.; Тюмень, ИКЗ СО РАН, 2007, 206 с.
- Лейбман М.О., Стрелецкая И.Д., Коняхин М.А.** Оценка динамики поверхностных условий Бованенковского месторождения (Средний Ямал) за период с 1949 по 1990 г. // Геоморфология. М., 1997, т. 2, с. 45–52.
- Мельников Е.С.** Ландшафтные индикаторы инженерно-геокриологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки / Е.С. Мельников, Л.И. Вейсман, Л.Н. Крицук и др. М., Недра, 1974, 132 с.
- Мельников Е.С., Васильев А.А., Лейбман М.О., Москаленко Н.Г.** Динамика сезонноталого слоя в Западной Сибири // Криосфера Земли, 2005, т. IX, № 2, с. 23–32.
- Методические** рекомендации по прогнозу развития криогенных физико-геологических процессов в осваиваемых районах Крайнего Севера / Ред. С.Е. Гречищев. М., ВСЕГИНГЕО, 1981, 78 с.
- Москаленко Н.Г.** Взаимосвязь мерзлоты и растительности в разных природных зонах западной части Арктики России // Криосфера Земли, 2003, т. VII, № 4, с. 14–20.
- Москаленко Н.Г.** Растительные сообщества побережий Ямала как объект для изучения биоразнообразия и создания базы данных // Криосфера Земли, 2006, т. X, № 2, с. 90–95.
- Полуостров Ямал** / Отв. ред. В.Т. Трофимов. М., Изд-во Моск. ун-та, 1975, 278 с.
- Постоев Г.П., Лапочкин Б.К., Казеев А.И., Никульшин А.С.** Оценка оползневой опасности на строительных площадках // Геоэкология. Инж. геология, гидрогеология, геокриология, 2008, № 6, с. 547–557.
- Растительный** покров Западно-Сибирской равнины / Ред. В.В. Воробьев, А.В. Белов. Новосибирск, Наука, 1985, 250 с.
- Ребристая О.В., Хитун О.В., Чернядьева И.В., Лейбман М.О.** Динамика растительности на криогенных оползнях в центральной части полуострова Ямал // Бот. журн., 1995, т. 80, № 4, с. 31–48.
- Симонов Ю.Г.** Балльные оценки в прикладных географических исследованиях и пути их совершенствования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География, 1997, № 4, с. 7–10.
- Стрелецкая И.Д., Лейбман М.О.** Криогеохимическая взаимосвязь пластовых льдов, криопэггов и вмещающих их отложений Центрального Ямала // Криосфера Земли, 2002, т. IV, № 3, с. 15–24.
- Украинцева Н.Г., Шувалова Е.М., Васильев А.А.** Оценка потенциальной опасности развития склоновых процессов на территории Бованенковского месторождения // Методы изучения криогенных физико-геологических процессов. М., ВСЕГИНГЕО, 1992, с. 109–114.
- Украинцева Н.Г., Шувалова Е.М., Сметанин Н.Н.** Криогенные оползни скольжения на территории Бованенковского месторождения: распространение, особенности, последствия // Материалы 3-й конф. геокриологов России (МГУ, 1–3 июня 2005 г.). М., Изд-во Моск. ун-та, 2005, т. II, с. 178–185.
- Хомутов А.В.** Связь естественных криогенных процессов с динамикой тундровых ландшафтов на примере подзоны типичных тундр Карского региона: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Тюмень, 2010, 183 с.
- Чехина И.В., Ривкин Ф.М., Корейша М.М., Попова А.А.** Построение оценочных карт природных рисков проявления криогенных процессов на побережье полуострова Варандей // Материалы Междунар. конф. “Криосфера нефтегазосных провинций”. Тюмень, ТГНГУ, 2004, с. 131.
- Шур Ю.Л.** Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст / Ю.Л. Шур. Новосибирск, Наука, 1988, 213 с.
- Burn C.R., Lewkowicz A.G.** Retrogressive thaw slumps // Can. Geogr., 1990, vol. 34 (3), p. 273–276.
- Burn C.R., Zhang Y.** Permafrost and climate change at Herschel Island (Qikiqtaruk), Yukon Territory, Canada // J. Geophys. Res., 2009, vol. 114, p. F02001, doi:10.1029/2008JF001087.
- Dvornikov Yu.A., Khomutov A.V., Mullanurov D.R. et al.** GIS- and field data based modeling of snow water equivalent in shrub tundra // Fennia, 2015, vol. 193, No. 2, p. 53–65.
- Harris C., Lewkowicz A.G.** Form and internal structure of active-layer detachments slides, Fosheim Peninsula, Elsmere Island, Northwest Territories, Canada // Can. J. Earth Sci., 1993, vol. 30, No. 8, p. 1708–1714.

Khomutov A.V., Leibman M.O. Landscape pattern and cryogenic landsliding hazard analysis on Yamal Peninsula, Russia // Thermal state of frozen ground in a changing climate during the IPY: Abstr. from the 3rd European Conf. on Permafrost (13–17 June 2010). The University Centre in Svalbard, Longyearbyen, Svalbard, 2010, p. 254.

Leibman M.O. Preliminary results of cryogenic landslides study on Yamal Peninsula, Russia // Permafrost and Periglacial Processes, 1995, vol. 6, No. 3, p. 259–264.

Leibman M.O., Kizyakov A.I., Sulerzhitsky L.D., Zaret-skaya N.E. Dynamics of the landslide slopes and mechanism of their development on Yamal Peninsula, Russia // Proc. of the 8th Intern. Conf. on Permafrost. Lisse, Netherlands, Balkema Publ., 2003, vol. I, p. 651–656.

Leibman M.O., Streletskaya I.D. Land-slide induced changes in the chemical composition of active layer soils and surface-water run-off, Yamal Peninsula, Russia // Proc. of the Intern. Symp. on Physics, Chemistry, and Ecology of Seasonally Frozen Soils (Fairbanks, Alaska). CRREL Special Report 97-10. Hanover, CRREL, 1997, p. 120–126.

Lewkowich A.G. Slope processes // Advances in periglacial geomorphology / M.J. Clark (ed.). Chichester, UK, J. Wiley and Sons Ltd., 1988, p. 325–368.

Ukrainitseva N.G. Vegetation response to landslide spreading and climate change in the West Siberian Tundra // Proc. of the 9th Intern. Conf. on Permafrost. Fairbanks, Alaska, 2008, vol. II, p. 1793–1798.

Ukrainitseva N.G., Leibman M.O., Sreletskaya I.D. Peculiarities of landslide process in saline frozen deposits of Central Yamal, Russia // Landslides in research, theory and practice. Proc. of the 8th Intern. Symp. on Landslides. Cardiff, UK / E. Bromhead et al. (eds.). London, Thomas Telford, 2000, No. 3, p. 1495–1500.

Ukrainitseva N.G., Streletskaya I.D., Ermokhina K.A., Yermakov S.Yu. Geochemical properties of plant-soil-permafrost system at landslide slopes, Yamal, Russia // Proc. of the 8th Intern. Conf. on Permafrost. Lisse, Netherlands, Balkema Publ., 2003, vol. II, p. 1149–1154.

Walker D.A., Reynolds M.K., Daniëls F.J.A. et al. The circumpolar Arctic Vegetation Map // J. Veget. Sci., 2005, vol. 16, No. 3, p. 267–282.

*Поступила в редакцию
6 апреля 2015 г.*