

В.Л. СУХОДРОВСКИЙ

СКЛОНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНОЙ ЗОНЕ ЗЕМЛИ ФРАНЦА-ИОСИФА

В настоящей статье изложены основные результаты исследований рельефообразующих склоновых процессов на Земле Франца-Иосифа, которые производились в период Международного геофизического года и были продолжены летом 1961 г. Подобные работы, входившие в программу геоморфологических исследований, были поставлены на архипелаге впервые.

Рельеф перигляциальной зоны Земли Франца-Иосифа, описанный уже нами ранее [Суходровский, 1961], характеризуется значительным развитием базальтовых плато с крутыми уступами (рис. 1), которые обрываются обычно к выводным ледникам, к морю или поверхностям морских террас. На островах, сложенных преимущественно песчаными и глинистыми осадочными породами (о-ва Грэм-Белл, Хейса и др.), плато в основном отсутствуют. Здесь господствует холмистый эрозионно-денудационный рельеф с грядами отпрепарированных даек и аккумулятивные равнины морского и дельтового происхождения. Рыхлый покров приледниковой зоны состоит из грубообломочных и песчано-глинистых отложений мощностью не более нескольких метров. Они оттаивают в течение непродолжительного лета в среднем на 40-60 см. Обилие летом талых вод, так же как и частые переходы температуры через 0°, характерные для районов арктического морского климата, способствуют физическому выветриванию и сносу рыхлого материала по склонам.

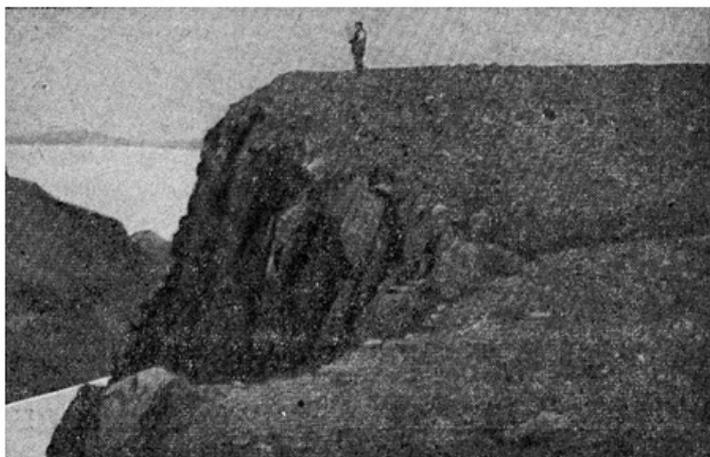


Рис. 1. Краевая часть плато Седова с обрывистым уступом — зоной камнепадов на о-ве Гукера

Физическое выветривание горных пород в районах сурового климата протекает, как известно, гораздо более активно, чем химическое и биохимическое выветривание. Решающим фактором дробления горных пород здесь является замерзающая в их трещинах и порах вода, что убедительно доказано экспериментальными исследованиями Трикара [Tricart, 1956].

Господствующее на архипелаге физическое выветривание проявляется одновременно в двух формах: тонком и грубом раздроблении горных пород. Под первой из них следует понимать процесс разрушения тонкого поверхностного слоя пород и отделение от них зерен кристаллов и мельчайших пылеватых и глинистых частиц. Грубое раздробление проявляется в сравнительно более глубоком растрескивании пород с последующим распадением их на глыбы и щебень.

Экспериментальные исследования тонкого раздробления базальтовых пород [Суходровский, 1962] показали, что этот процесс захватывает поверхностный слой мощностью до 1 мм. В присутствии воды, которая подвергалась стократным замерзаниям-оттаиваниям (столько же раз, сколько температура на поверхности переходит через 0° в течение года), с 1 см² поверхности породы поступило около 5,9 мг супеси. С единицы поверхности относительно сухой породы при тех же колебаниях температуры поступило материала в 160 раз меньше. Зерна образовавшихся песчинок имели острые грани. Количество пылеватых и глинистых частиц составило около 14% от всего веса собранного материала.

На основании эксперимента мы полагаем, что даже в самой нижней части увлажненного сезоннооттаивающего слоя, где вода замерзает и оттаивает не менее одного раза в году, тонкое раздробление протекает не менее интенсивно, чем в пределах поверхностей обнаженных, но сухих пород.

Грубое раздробление базальтовых пород предопределено в значительной степени наличием контракционных структурных трещин, образовавшихся в результате сокращения объема при остывании магмы. Расширение этих трещин и отделение по ним глыб от коренного ложа в результате наличия температурных градиентов происходит и при отрицательных температурах. По аналогии с тонким раздроблением можно предполагать, что и грубое раздробление внутри сезоннооттаивающего слоя по своей интенсивности соизмеримо с таким же процессом в пределах лишенных влаги обнажений.

Гравитационные процессы движения блоков или обломков горных пород под непосредственным воздействием силы тяжести на Земле Франца-Иосифа подразделяются на камнепады, осыпание и перенос грунтов снежными лавинами. Эти процессы развиваются на уступах базальтовых плато и отпрепарированных даек с относительными высотами от нескольких десятков до нескольких сотен метров.

Наблюдения за камнепадами и осыпанием велись как обычным описательным, так и полустационарным методами. Последний заключался в задержании перемещаемого по склону материала заградительными дамбами.

Камнепады обычно развиваются на обнаженных уступах. Ниже по склону, там, где крутизна его уменьшается, камнепады перерастают в осыпания, т.е. происходит смена форм единого гравитационного процесса. Осыпание грунтов, в которое вовлекается материал осыпных шлейфов, проявляется в свою очередь как в форме скатывания отдельных обломков, так и в форме быстрого их сползания на небольшие расстояния.

В течение периода, когда на Земле Франца-Иосифа господствуют отрицательные температуры, большая часть склонов закрыта снегом с плотным настом, образующимся под воздействием характерных для района сильных ветров. Только стены скальных выходов остаются обнаженными и являются ареной процессов выветривания и камнепадов. Обломочный материал, упавший на закрытые снежным настом шлейфы, легко скользит и перекачивается по его поверхности, преодолевая при этом расстояния, значительно большие, чем летом. Особенно интенсивно перемещаются грубообломочные продукты выветривания по поверхности имеющихся на архипелаге присклоновых ледников в период их таяния, когда обломки скользят по чистому льду еще лучше, чем по поверхности снега. Следы подобного перемещения мы не раз обнаруживали на расстоянии нескольких сотен метров от скальных уступов. Осыпание, как и камнепады, наиболее активно в период таяния.

Заслуживают внимания и такие перемещения грунтовых масс, которые обусловлены деятельностью снежных лавин и обвалов. Снежные массы, скапливающиеся в корразионных нишах, в верхних частях эрозионных врезов или просто ниже бровок уступов, под действием силы тяжести обрушиваются вниз по склону, что происходит обычно при резком потеплении. Они увлекают за собой и попадающиеся по пути продукты выветривания. Интересны результаты обследования отложений двух снежных лавин, сошедших 21 июня 1959 г. по южному склону плато Седова, вблизи полярной

станции Бухта Тихая. Значительная часть снесенного ими со склона обломочного материала была сгружена на прибрежной части морского льда, где легко можно было подсчитать его объем. Он оказался равным 30 м^3 в 400 м и 55 м^3 - в 1400 м восточнее полярной станции.

На Земле Франца-Иосифа, отличающейся широким распространением плато с обрывающимися к морю уступами, процесс накопления отложений лавин, как и отложений камнепадов на морском льду, явление нередкое. Последующее таяние льда служит причиной осаждения лавинного материала на дне моря, подобно тому как образуется донная морена вследствие таяния айсбергов. Это может происходить как в прибрежной зоне, так и вдали от берегов, когда льды уносятся от места их возникновения ветрами и течениями. Касаясь относительной роли лавин в рельефообразовании, интересно отметить, что, по данным М.И. Ивероновой [1961], на склонах хребта Терской Алатау в среднем за год лавинами сносится примерно столько же материала, сколько и процессами обычных камнепадов.

Интенсивность отступания отвесных и крутых склонов за счет выветривания и последующих гравитационных процессов в целом не столь велика, чтобы объяснять этим путем происхождение прибрежных наклонных равнин, примыкающих к подножьям уступов. Подсчет обломочного материала, упавшего со скалы Рубини (о-в Гукера) на припай морского льда, показал, что отступление его не превышает в среднем сотых долей миллиметра в год [Суходровский, 1962]. Подтверждением слабой интенсивности разрушения крутых склонов служат также данные М.И. Ивероновой [1953], изучавшей камнепады на Тянь-Шане, а также данные Раппа [Rapp, 1957], исследовавшего осыпи в Шведской Лапландии и на Шпицбергене.

Наряду с рассмотренными выше склоновыми процессами, которые по скорости перемещения грунтов могут быть отнесены к быстрым гравитационным движениям, на архипелаге развит и медленный гравитационный процесс - сползание. Сферой его действия являются не только осыпные шлейфы с уклонами, близкими к углам естественного откоса, но и более пологие склоны, которые также сложены преимущественно грубообломочным материалом (рис. 2). Медленное сползание грубых обломков может происходить в результате солифлюкционного смещения грунтов, слагающих подножья склонов и служащих опорой для лежащего выше по склону обломочного материала. Сползание предопределяется и колебаниями температуры пород, а главным образом - их поочередным замерзанием и оттаиванием (режелаяцией), о чем будет сказано несколько ниже. Одновременно грубые обломки на склонах перемещаются под действием продолжающегося выветривания. Дробление пород на все более мелкие обломки, а также разрушение их поверхностного слоя создают условия для некоторого движения пород вниз по вертикали - оседания. Вертикально погружаясь (оседая) на некоторую глубину внутрь покровного слоя, материал тем самым оказывается смещенным по склону.

Солифлюкцией принято считать передвижение увлажненных покровных грунтов по склонам под совместным воздействием силы тяжести и процессов, вызываемых промерзанием и протаиванием [Каплина и Качурин, 1961]. На Земле Франца-Иосифа, как и в большинстве районов развития вечной мерзлоты, этот процесс пользуется наиболее широким распространением. Солифлюкция проявляется одновременно в двух взаимосвязанных формах движения: вязком течении и сползании под действием режелаяции. Течение увлажненного грунта предопределено в значительной степени нарушением связности между частицами, вызванным чередованием промерзаний и протаиваний грунтов что подтверждается экспериментальными исследованиями Трикара [Tricart, 1954] и стационарными наблюдениями Яна [Jahn, 1961]. Под действием этих же процессов режелаяции грунты то приподнимаются перпендикулярно склону при пучении, то опускаются почти по вертикали т.е., с некоторым смещением вниз по склону и, таким образом, медленно сползают все ниже и ниже. Обе эти формы движения могут находиться

(по степени их активности) в самых различных соотношениях друг с другом, что зависит от углов наклона поверхности, от характера материала и степени его увлажненности. На крутых уклонах, лишенных мелкозема, течение сводится практически к нулю, а сползание становится самостоятельным процессом, который является уже не столько солифлюкционным, сколько гравитационным. И, наоборот, наши наблюдения показали, что на склонах, сложенных переувлажненным глинистым и суглинистым материалом, последний перемещается в ряде случаев в виде «чистого» течения (сплывания).



Рис. 2. Уступ морской террасы, для которого характерны процессы вымывания мелкозема и медленного гравитационного движения грубых обломков (о-в Гукера)

Солифлюкционные процессы в рассматриваемом районе наблюдаются на склонах с углами падения от 1-1,5 до 20-30°, сложенных с поверхности увлажненным песчано-глинистым материалом, содержащим часто грубые обломки. О количестве замерзаний-оттаиваний в разных горизонтах сезоннооттаивающего слоя, имеющих немалое значение для развития солифлюкции, можно судить по данным полярной станции Бухта Тихая, полученным для сложенного щебнистой супесью наклонного участка морской террасы. На глубинах 0,0; 0,1; 0,2; 0,4 м среднее количество переходов температуры через 0° происходит соответственно - 95, 7, 4, 2-3 раза в году.

Стационарные исследования солифлюкционного смещения были выполнены при помощи несложных установок, состоящих из маркированных камней и колышков, погруженных в рыхлый покров на 5, 10, 15, 20 см, а также репера - стального прута, глубоко вбитого в мерзлый грунт. Под действием солифлюкции колышки передвигались вместе с грунтом, в то время как репер был неподвижным. По смещению различных колышков и камней относительно репера можно было судить о движении покровного слоя соответствующей мощности. Пунктами наблюдений явились делювиально-солифлюкционные шлейфы уступов плато Седова и Чурляниса на о-ве Гукера, а также склон холма на о-ве Земля Александры. Предельный период наблюдений длился несколько более одного года.

На основании полученных в пяти пунктах данных можно говорить о наиболее характерных для района средних скоростях солифлюкционных перемещений. На склонах, сложенных песчано-глинистыми отложениями с углами падения в 2-3°, они составляют от 1 до 3 см в год, что примерно соответствует результатам наблюдения на Шпицбергене [Jahn, 1961]. С увеличением уклонов поверхности, сложенной увлажненным мелкоземом, перемещение грунтов становится более быстрым. На глубине 20 см скорость солифлюкции в 1,5 раза меньше, чем на поверхности. Наиболее интенсивно протекает

солифлюкция в период таяния. Самая значительная из зафиксированных нами скоростей солифлюкции в этот период оказалась равной примерно 1 см за 5 дней. В середине лета, когда грунты становятся суше и число переходов их температуры через 0° резко сокращается, солифлюкционное течение замедляется или прекращается совсем. С наступлением заморозков интенсивность процесса вновь возрастает, но остается меньше, чем в период таяния, когда грунты имеют максимальную влажность. На участках, примыкающих к нижним краям ледников и снежников, солифлюкция не прекращается в течение всего периода таяния. Из создаваемых солифлюкцией форм рельефа следует прежде всего указать на пологие шлейфы, в пределах которых встречаются солифлюкционные террасы и натечные языки.

За процессами движения каменных россыпей или курумов, в котором вязкое течение по сравнению со сползанием играет незначительную роль, наблюдения нами не велись. В отличие от солифлюкционных движений, присущих грунтам смешанного состава, они протекают, по-видимому, со скоростями, равными миллиметрам или даже долям миллиметра в год. Что касается «чистых» течений (сплываний), то мы наблюдали только создаваемые этими процессами формы. Они представляют натечи грязевидных, пылевато-глинистых грунтов, вытекавших из-под относительно сухих поверхностных отложений. В тех случаях, когда происходит оползание-сплывание, а именно, когда по разжиженным грунтам перемещаются вниз по склону целые участки поверхностного слоя, образуются специфические формы с разрывами сплошности поверхностного слоя и с аккумулятивными валами ниже этих разрывов (рис. 3). И те, и другие формы образуются обычно с большой скоростью, что дает основание создающие их процессы сплываний и оползаний-сплываний, в отличие от наиболее широко развитых процессов сползаний-вязких течений, относить не к медленным, а к быстрым солифлюкционным процессам.



Рис. 3. Форма рельефа, созданная оползанием-сплыванием на о-ве Грезм-Белл

Делювиальный процесс, в понимании А.П. Павлова [1888], есть смыв и перемещение дождевыми водами продуктов выветривания по уклонам поверхности. Большинство исследователей считает, что основным денудационным процессом на склонах в Арктике является не делювиальный, а солифлюкционный. Но имеется и противоположная точка зрения [Poser, 1932; Jahn, 1961; Mumm, 1962 и др.]. А. Ян, занимавшийся стационарными исследованиями на Шпицбергене, связывает свой вывод о преобладании смыва над солифлюкцией с разреженностью растительного покрова.

Для делювиального процесса Земли Франца-Иосифа, как и для Шпицбергена, характерно то, что основным источником стекающих по поверхности вод являются не осадки, выпадающие в жидком виде, а тающий летом снежный покров. Неравномерное распределение последнего от места к месту обуславливает в значительной степени и пространственные различия в количестве смываемого материала. Интенсивнее всего этот процесс проявляется в нижних частях склонов, особенно там, где они подвержены действию вод, поступающих за счет таяния снежников (рис. 4). В зависимости от характера грунтов и наличия на поверхности растительного покрова делювиальный процесс может быть плоскостным, струйчатым и подповерхностным. Первые два из них протекают на дневной поверхности, а третий - в пустотах между грубыми обломками сезоннооттаивающего слоя.



Рис. 4. Снежник и солифлюкционно-делювиальный шлейф, созданный деятельностью талых вод (о-в Грэм-Белл)

Для того, чтобы иметь хотя бы примерное представление об интенсивности делювиального смыва по сравнению с солифлюкционным перемещением грунтов, летом 1961 г. мы провели в течение 15 суток одновременные наблюдения за этими двумя процессами. Наблюдения за солифлюкцией свелись к выявлению скоростей движения грунта охарактеризованным выше способом. Изучение делювиального процесса заключалось в установлении количества материала, смываемого водой с 1 м^2 стоковой площадки длиной 6,8 и шириной 2,2 м, для чего использовались перегораживающие склон доски и ванночка. Пунктами наблюдений были два примыкающие к нижним краям снежников участка которые сходны между собой в морфологическом и гидрологическом отношениях (угол наклона участков равен 3° , а сток на них примерно одинаков) но имеют при этом различный состав отложений Один из участков (на о-ве Земля Александры) сложен супесью и покрыт разреженной мохово-лишайниковой растительностью, а другой (на о-ве Грэм-Белл), лишенный какой бы то ни было растительности, отличается наличием малосвязных мелкозернистых песков.

В результате этих наблюдений оказалось, что делювиальный смыв материала с 1 м^2 площади о-ва Земля Александры за 15 суток был равен в среднем 0,7 г, или $0,4 \text{ см}^3$ (в влажном естественном состоянии). С такой же единицы площади склона о-ва Грэм-Белл только за 1 час смыто около 4,2 г, или $3,0 \text{ см}^2$ материала, на основании чего можно судить о примерной величине смыва и за большее время Солифлюкционное смещение слоя грунта мощностью 25 см за 15 суток составило на обоих участках около 0,4 см.

Для сравнения интенсивности делювиального и солифлюкционного процессов соответствующие показатели были приведены затем к числам, выраженным одной и той же единицей измерения. Точнее говоря, мы определили, какое количество материала перемещается тем и другим процессом через 1 м поперечного профиля склона.

На основании этих расчетов, а также на основании маршрутных исследований можно сказать следующее. В определенных условиях, а именно - на незначительных по протяжению песчаных участках склонов, расположенных ниже снежников, делювиальный процесс преобладает над солифлюкцией. Об интенсивности его здесь свидетельствует наличие сети струек воды, на глазах у наблюдателя перемещающих целые потоки песчинок. О некоторой активности сноса, правда, не по дневной поверхности, а по пустотам между грубыми обломками покровного слоя можно говорить и для большинства крутых склонов в пределах распространения базальтовых пород. Это подповерхностное вымывание мелкозема благоприятствует в свою очередь не солифлюкции, а сползанию и осыпанию грубых обломков, о чем говорилось выше.

На большей части поверхностей с углами падения от 2-3 до 15-20°, отличающихся наличием супесчаных и суглинистых отложений, основным процессом сноса является не делювиальный смыв или намыв, а солифлюкция.

Линейная эрозия происходит там, где поверхностные водотоки локализируются в русла. В зависимости от характера горных пород стекающие по склонам русловые потоки создают различные эрозионные формы.

На скальных уступах, сложенных базальтами, создаются сравнительно глубокие, иногда ущельеобразные врезы. Значительная роль в их углублении, как это можно судить на основании эксперимента, падает на морозное выветривание. В пределах осыпей эрозионные образования, как и на поверхности скал, встречаются сравнительно редко и представлены неглубокими ложбинами. В происхождении их, как правило, играет роль не только эрозия, но и корразионная деятельность материала, перемещаемого в процессе осыпания или схода снежных лавин. Для склонов, сложенных слабосцементированными осадочными породами, отличающимися очень слабой льдистостью, характерны густые сети водороев или промоин. На большей части пологих склонов, сложенных рыхлыми, преимущественно мелкозернистыми отложениями, эрозионные образования встречаются крайне редко. Их возникновению препятствует солифлюкция. А если иногда и возникают эрозионные формы в начальный период таяния, то по мере оттаивания грунтов, они заплывают вплоть до полного исчезновения.

Формирование склонов Земли Франца-Иосифа, имеющих тектоническое, эрозионное, экзарационное или смешанное происхождение, протекает в настоящее время за счет совместной деятельности процессов выветривания и перемещения по склонам рыхлого материала. Классификация характерных для района склоновых процессов, охарактеризованных выше, может быть представлена в следующем виде:

Группы процессов	Процессы
Быстрые гравитационные процессы	Камнепады (обвалы)
	Осыпания
	Перенос грунтов снежными лавинами
Медленный гравитационный процесс	Сползание
Медленный солифлюкционный процесс	Сползание - вязкое течение
Быстрые солифлюкционные процессы	Оползание - сплывание
	Сплывание (течение)
Водно-денудационные процессы	Подповерхностный смыв и намыв
	Плоскостной смыв и намыв
	Струйчатый смыв и намыв
	Бороздчатый смыв
	Смыв в растворенном виде

В зависимости от характера коренных пород в пределах перигляциальной зоны архипелага можно выделить два комплекса склоновых, процессов: гравитационно-солифлюкционный и делювиально-солифлюкционный.

Первый развит на большинстве островов, сложенных базальтами, а также в пределах гряд отпрепарированных долеритовых и габбро-долеритовых даек, встречающихся на островах Грэм-Белл, Хейса и некоторых других. На наиболее крутых участках (от 5-10 до 90°), сложенных в основном грубообломочным материалом, преобладают гравитационные процессы. На относительно пологих склонах (от 1 до 20°), характеризующихся преобладанием мелкозема, основным денудационным процессом является солифлюкция. Такое пространственное распределение процессов особенно отчетливо проявляется на ступенчатых склонах [Суходровский, 1957], характерных для верхних частей уступов плато.

Склоновые процессы второго - делювиально-солифлюкционного комплекса - развиты в тех местах о-вов Грэм-Белл, Хейса и др., которые в основном сложены рыхлыми отложениями песчано-глинистого состава. Под действием этих процессов склоны приобрели округлые, выпукло-вогнутые очертания. Большая интенсивность их сказалась и на том, что днища речных долин, даже в истоках, стали широкими [Суходровский, 1961].

Институт географии
АН СССР

ЛИТЕРАТУРА

Иверонова М.И. Движение осыпей. Тр. Ин-та географии АН СССР, т. 56. Работы Тяньшанской физико-географич. станции, вып. 3. М., Изд-во АН СССР, 1953.

Иверонова М.И. Рельефообразующая роль снежных обвалов в хребте Терской Алатау. Изв. АН СССР, серия геогр., 1961, № 3.

Каплина Т.Н., Качурин С.П. Солифлюкционные явления и образования. В кн.: Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования (методическое руководство), глава XI. М., Изд-во АН СССР, 1961.

Митт К.Л. О делювиальном сносе в перигляциальных условиях. В кн.: Вопросы криологии при изучении четвертичных отложений. М., Изд-во АН СССР, 1962.

Павлов А.П. Генетические типы материковых образований ледниковой и послеледниковой эпохи. Изв. Геол. комитета, 1888, т. 7, вып. 7.

Суходровский В.Л. Вопросы изучения формирования склонов в районах сурового климата. В кн. Основные методические указания по гляциологическим исследованиям. Вып. 15 (Приложения). М., 1957.

Суходровский В.Л. Геоморфологическая характеристика приледниковой зоны Земли Франца-Иосифа. В кн.: Гляциологические исследования вып. 6. Изд-во АН СССР, 1961.

Суходровский В.Л. Физическое выветривание горных пород в приледниковой зоне Земли Франца-Иосифа. В кн.: Исследование ледников и ледниковых районов, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1962.

Jahn A. Quantitative analysis of some periglacial processes in Spitsbergen. В кн.: Nauka o ziemle. 2. Warszawa, 1961. (Zeszyty naukowe Uniwersitetu Wroclawski im Boreslawa Bieruta. Seria B. Nauki przyrodnicze N 5).

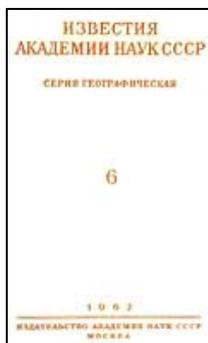
Poser H. Einige Untersuchungen zur Morphologie Ostgronlands. Medd. om Gronland, 1932, Bd. 94, N 5.

Kapp A. Studien fiber Schutthalden in Lappland und auf Spitzbergen. Zeitschr. fur Geomorphologie, Neue Folge, 1957, Bd. I, H. 2.

Tricart J. Premiers resultats d'periences de solifluxion periglaciaire. Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'academie des sciences, 1954, T. 238, N 2.

Tricart J. Etude experimental du probleme de la gelivation. Biuletyn peryglacjalny. 1956, N 4.

Ссылка на статью:



Суходровский В.Л. **Склоновые процессы в перигляциальной зоне Земли Франца-Иосифа.** Известия Академии Наук. Серия геогр., 1962, № 6, с. 85-93.