

## МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК551.435.24(235.47)

© 1994 г. В. Н. НЕВСКИЙ

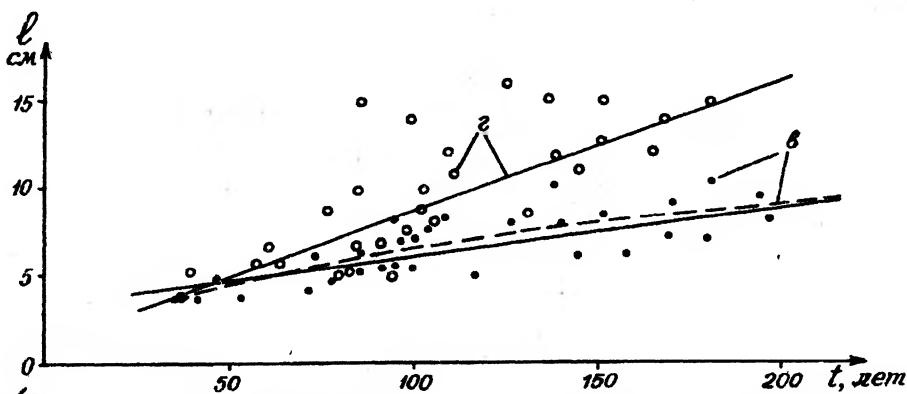
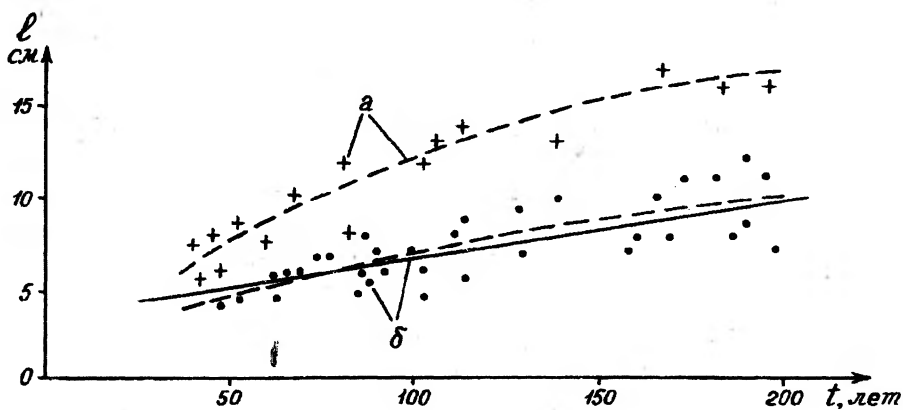
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ СКЛОНОВЫХ  
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЮЖНОМ СИХОТЭ-АЛИНЕ

Разнообразие методов оценки темпов денудации не снимает в полной мере остроту проблемы получения количественных данных. Достоверность результатов требует комплексного применения методических приемов, для чего необходимы соответствующие технические средства и длительные сроки наблюдений [1]. Разовые методы, такие, как фитоиндикационные, отличаются низкой точностью, особенно в районах с преобладанием склоновых экзогенных геоморфологических процессов (ЭГП) массового смещения материала в условиях замерзания-оттаивания и избыточной увлажненности. В настоящей статье предпринята попытка обойти естественные ограничения фитоиндикационных (дендрохронологических) приемов и добиться удовлетворительной достоверности количественных результатов на основе комплексного использования разовых методов.

Объектами изучения служили денудационные и денудационно-аккумулятивные склоны водосборных бассейнов 1—3-го порядков хребта Большой Воробей (Южный Сихотэ-Алинь), выработанные в верхнемеловых алевролитах, песчаниках и туфопесчаниках. В разрезах склоновых отложений преобладают суглинки (50—90%) с дресвой и щебнем (5—40%), залегающие на глыбовом горизонте или «разборной скале». Мощность склоновых отложений не превышает 0,5 м. Ведущие ЭГП — обвально-осыпной (при крутизне склона более 37—39°) и полигенетический процесс массового смещения склонового материала (менее 37—39°). Последний включает такие ЭГП, как медленная солифлюкция, дефлюкция, десерпция (термо-, гидро- и криогенная), и обозначен автором с целью упрощения как «крип» [2]. Активность крипа подтверждается многочисленными обнажениями корневой системы деревьев, эффектами дендрокранирования, бугристым характером микрорельефа и «подвешенными» дресвяно-щебнистыми горизонтами в некоторых разрезах склоновых отложений.

Растительность представлена полидоминантным хвойно-широколиственным лесом с сомкнутостью крон 60—90% и умеренным травянистым покровом, иногда — разреженным. Субгоризонтальные поверхности террас и вогнутые поверхности склонов характеризуются кустарниковым подлеском и сплошным травянистым покровом.

Оценка линейной скорости денудации (скорости отступления склона) по обнаженным корням деревьев. Сущность метода заключается в определении линейной скорости денудации ( $v_n$ ) как отношения расстояния между морфологическим центром обнаженной корневой шейки дерева и наблюдаемой поверхностью склона, измеренного по нормали ( $l$ ), к возрасту дерева ( $t$ ) [1, 3, 4]. Данная методика, хорошо зарекомендовавшая себя в аридных и семиаридных областях, оказалась весьма ненадежной в климатических условиях, свойственных лесной зоне востока России. Основная причина заключается в искажении «нормальной» морфофизиологии дерева криогенными процессами, которые буквально «выпирают» корневую систему из грунта [3]. Криогенный фактор наиболее эффективен вблизи тыловых швов пойм и террас, где наблюдается повышенная мощность рыхлых отложений. Именно на этих участках отмечены зимние микроналеды в непосредственной



Определение «среднемаксимальной» линейной скорости денудации по дендрохронологическим данным *a* — вогнутые склоны крутизной 15—25°, *б* — прямые склоны крутизной 15—25°, *в* — прямые склоны крутизной 26—37°, *з* — склоны крутизной 40—65°

близости от корневых систем или под ними и общая высокая водонасыщенность грунта в течение всего года. Значительные затруднения в оценке темпов денудации вызывает также отсутствие деревьев со стержневым корнем.

В качестве дендробъектов были выбраны ель аянская и сосна корейская. Дендрохронологические анализы (определение  $l$  и  $t$ ) производились только при четко морфологически выраженном обнажении корневой шейки, что характерно для 30—40% от общего числа деревьев в средней части склонов крутизной 20—37°. Для приводораздельных склонов такой же крутизны это соотношение достигает 70%. Следовательно,  $v_n$  в данном случае может быть признана как «среднемаксимальная», свойственная участкам (или интервалу времени) с высокой активностью крипа и минимальным объемом транзитного материала. При меньшей крутизне и на субгоризонтальных поверхностях пойм и террас обнажение корневой системы выражается в неявной форме, не позволяющей произвести точные измерения, и обусловлено скорее криогенным пучением грунта, чем ЭГП или паводковым смывом. На обвално-осыпных склонах это явление имеет преимущественно денудационную природу и характерно для 70—90% дендробъектов.

Данные дендрохронологических анализов были разбиты на три группы соответственно трем интервалам крутизны склонов: 15—25° (51 анализ), 26—37° (26) и 40—65° (28). Экспозиция склонов — западная, восточная, реже южная. Каждая группа данных была отображена на графике  $l = F(t)$  (рисунок).

В пределах интервала 15—25° массив точек разделен на две части — данные для прямых склонов и вогнутых, опирающихся на поймы и террасы. Первый

массив аппроксимируется линейной функцией  $l_1 = 0,03t + 3,5$ ; второй — степенной (параболической) типа  $l = at^b + c$ , где  $0 < b < 1, c > 0$ . Логично предположить, что параболическая форма зависимости более характерна, чем линейная, для всех криповых склонов, и чем выше водонасыщенность грунта, тем большую кривизну имеет парабола. На рисунке она показана пунктиром. Аналогично для интервала  $26—37^\circ$  характерна линейная функция  $l_2 = 0,025t + 3,8$  или параболическая, но со значительно меньшей кривизной.

По всей видимости, начальные отрезки параболических кривых соответствуют периоду более заметного нарушения «нормальной» морфофизиологии дерева криогенными процессами пучения. В дальнейшем, с  $40—80$  лет, по мере укрепления корневой системы и увеличения веса дерева на склонах средней крутизны южной, западной и восточной экспозиций криогенное пучение ослабляет свою относительную активность. Это предположение косвенно подтверждается тем фактом, что у большинства молодых (до 80 лет) деревьев хорошо развиты корни, идущие вверх по склону и испытывающие наибольшую нагрузку растяжения при смещении молодого дерева со склоновым материалом. Корни, идущие вниз, для молодых деревьев менее характерны, чем верхние и боковые; они, как правило, моложе на  $50—90$ , иногда на 100 лет по сравнению с возрастом дендробъекта. В большинстве случаев они отходят от комля заметно ниже его морфологического центра. Однозначное объяснение этим фактам найти сложно; вероятно, в данном случае в равной степени сказываются как смещение дерева со склоновым чехлом, так и его морфофизиологические особенности, вызванные асимметрией среды. Однако почти несомненно, что в возрасте  $50—90$  лет дерево закрепляется на склоне «со всех сторон», в том числе и снизу, и криогенное пучение уже не приводит к значительному вертикальному или латеральному перемещению дендробъекта.

Необходимо также отметить сравнительно низкую льдистость грунта на отмеченных выше склонах, тогда как на северных и пологих (до  $15^\circ$ ) прямых и вогнутых (независимо от экспозиции) склонах промерзший рыхлый чехол представляет собой плотный монолит.

Количественная оценка скорости отступления обвально-осыпных склонов ( $40—65^\circ$ ) не требует существенной корректировки. Массив точек в данном случае отличается большим разбросом, поскольку характер процесса по сравнению с крипом в значительной степени неравномерный, и аппроксимируется линейной функцией  $l_3 = 0,07t + 2$ .

Анализируя полученные графики и учитывая региональные особенности склоновых ЭГП [5, 6] и приведенные выше факты, признается целесообразным определять  $v_n$  как коэффициент при  $t$  из линейных уравнений  $l = F(t)$  или, что предпочтительнее, как тангенс угла наклона касательной к параболе (первая производная —  $dl/dt$ ) на участке ее наименьшей кривизны, т. е. при  $t > 90—100$ .

Согласно интерпретации линейных уравнений, криповые склоны крутизной  $15—25^\circ$  восточной, западной и отчасти южной экспозиций в течение последних  $150—200$  лет отступали со «среднемаксимальной» скоростью около  $0,3$  мм/год, склоны крутизной  $26—37^\circ$  — около  $0,25$  мм/год. Если исходить из графического анализа степенных функций ( $v_n = dl/dt$  при  $t > 90—100$ ), то среднемаксимальная  $v_n$  для первых и вторых склонов будет иметь порядок  $0,20—0,25$  мм/год. Средняя для данных типов склонов скорость отступления, безусловно, ниже.

Кажущееся противоречие между полученными из линейных уравнений  $v_n$  для пологих склонов ( $15—25^\circ$ ) и меньшими по значению  $v_n$  для склонов с крутизной  $26—37^\circ$ , с одной стороны, ограничивает область применения данного методического приема, а с другой стороны, подтверждает параболическую форму  $l = F(t)$ , как более реальную.

Оценка скорости денудации по методу дендрозкранов. Метод дендрозкранов позволяет рассчитать минимальную объемную скорость денудации на склонах с высокой или локально высокой активностью ЭГП. Объемная скорость денудации

Морфометрические характеристики дендрозкранов и расчетные скорости денудации

$\alpha$ , град	$d$ , см	$L$ , м	$V$ , $10^{-3}$ м <sup>3</sup>	$V_0$ , $10^{-3}$ м <sup>3</sup>	$t$ , лет	$t_3$ , лет	$v_d(v_0)$ , мм/год ( $10^{-3}$ м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·год)
27	60	15	4	13	220	145	0,03
28	60	15	2	7	185	115	0,02
35	60	12	3	10	190	120	0,03
30	75	15	5	17	255	190	0,03
31	70	12	5	17	240	180	0,04

Обозначения:  $\alpha$  — средняя крутизна склона выше экрана;  $d$  — диаметр ствола (ширина экрана);  $L$  — длина денудационного склона выше экрана;  $V$  — суммарный объем крупных (более 2 см) обломков, задержанных дендрозкраном на участке склона шириной 20 см;  $V_0$  — полный расчетный объем экранированного материала (на 20 см ширины склона);  $t_3$  — длительность экранирования (точность определения — 30—40 лет)

( $v_0$ ) выражается количеством рыхлого материала, снесенного за единицу времени с единичной площади склона, и измеряется в м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год или л/м<sup>2</sup>·год. При параллельном отступании склона  $v_0$  идентична  $v_d$ , что следует из самого определения этих характеристик.

Эффект экранирования проявляется в образовании положительной аккумулятивной микроформы рельефа, прислоненной к дереву со стороны вышележащего склона, и отрицательной микроформы рельефа — ниже дерева [7]. В идеальном случае оценка  $v_0$  производится по методу площадки-ловушки [1]. Зная объем накопленного материала ( $V_a$ ) на участке склона известной ширины за определенный срок ( $t$ ) и площадь вышележащего склона ( $S_d$ ) с однородными условиями денудации, получим

$$v_0 = V_a / S_d t. \quad (1)$$

В упрощенном варианте

$$v_0 = v_d = S_a / L_d t, \quad (2)$$

где  $S_a$  — площадь вертикального продольного сечения аккумулятивной микроформы рельефа,  $L_d$  — длина вышележащего денудационного склона.

Аккумулятивная микроформа имеет сравнительно небольшие размеры. Максимальная площадь ее продольного сечения, проходящего по азимуту падения склона через морфологическую ось дерева, не превышает 0,2 м<sup>2</sup>. Гранулометрический состав неоднородный с некоторым преобладанием щебня.

В действительности ствол дерева вследствие ограниченных размеров не является глухим экраном, и рыхлый материал может «обтекать» препятствие. Именно по этой причине эффект дендрозкранирования имеет неясное морфологическое проявление, не поддающееся геометрическому описанию. В подобных случаях данный метод позволяет лишь определить скорость перемещения обломков по поверхности склона [1]. Однако на склонах южной экспозиции крутизной более 20° наблюдаются явные гранулометрические и в меньшей степени морфологические (геометрические) признаки экранирования. Поскольку мелкий материал, включая дресву и мелкий щебень, вследствие локальной концентрации стока при обтекании дерева задерживается лишь частично, то для установления объема наползающего материала было использовано соотношение концентраций крупных обломков в теле аккумулятивной (экранированной) микроформы рельефа и «свободно» перемещающемся чехле склоновых отложений.

Минимальный размер учитываемых обломков устанавливался произвольно с

целью упрощения расчета объема. Визуально отмечено, что щебень с размерами по длинной оси 2 см и выше имеет явно более высокую концентрацию в теле аккумулятивной микроформы по сравнению с усредненным грансоставом склонового материала в непосредственной близости от дендрозкрана. Логично предположить, что обломки крупнее 2 см в наименьшей степени подвержены воздействию плоскостного (мелкоструйчатого) смыва и других ЭГП в обход дерева.

Боковые границы «призмы» экранирования, внутри которой производился учет обломков крупнее 2 см, выбраны также условно для упрощения измерительных операций в виде двух вертикальных плоскостей, отстоящих на 10 см справа и слева от плоскости с наибольшей площадью продольного сечения. Поскольку ширина экрана (диаметр ствола у основания) составляет 60—80 см (табл. 1), можно уверенно сказать, что этот участок экрана, соответствующий ширине склона 20 см, задерживает наибольший объем коллювиального материала. Нижняя граница «призмы» устанавливалась по разрезу и особых сомнений не вызывала.

Объем крупных обломков определялся с помощью мерной емкости (5 л) по объему вытесненной воды. Во всех анализах содержание обломков крупнее 2 см составляло 40—60% от общего объема экранированного материала. В разрезах, вскрытых до глубины 10 см в стороне от дендрозкранов, доля этой фракции не превышала 40% при среднем значении 30%. Последняя величина принята в качестве «фоновой» в расчете полного объема экранированного материала. Все анализы проводились на склонах южной экспозиции крутизной 27—35° на расстоянии 12—15 м от водораздела или приводораздельного перегиба.

Первые признаки экранирования наблюдались при толщине ствола 15—20 см. Возраст дерева, соответствующий этой толщине, определялся по спилу и составлял от 40 до 85 лет. Соответственно длительность дендрозкранирования ( $t_s$ ) отличается на эту величину от возраста дерева-экрана.

Поскольку экранирование крупных обломков характерно почти для всех дендробъектов с диаметром ствола более 15—20 см, то сравнительно небольшой разброс полученных значений  $v_0$  или  $v_n$  позволяет принять величину 0,03 мм/год (табл. 1) как минимальную для склонов южной экспозиции крутизной 27—35°. Заметим, что на данных склонах доминируют термо-, гидро- и криогенная десерпция и плоскостной смыв. Явные диагностические признаки других ЭГП отсутствуют.

Оценка скорости денудации по объему коллювиального шлейфа, опирающегося на датированную поверхность. В Южном Приморье широко распространена «луговая» (первая) надпойменная терраса, уступ которой начал формироваться в среднем голоцене [8, 9]. Для водотоков 2—3-го порядков характерны цокольные террасы с четко выраженным уступом высотой 3—4,5 м и незначительными коллювиальными шлейфами, которые лишь в редких случаях достигают мощности 2 м над тыловым швом.

В пределах исследуемого района был выбран коллювиальный шлейф, опирающийся на луговую террасу и коррелятный склону южной экспозиции длиной от 12 до 50 м с относительно ровной, без перегибов поверхностью. Денудационная область склона имеет крутизну 32—39°. Мощность рыхлых отложений изменяется от 0,05—0,15 м вблизи водораздела до 0,2—0,5 м на верхней границе шлейфа.

Шлейф отличается относительно четкими геометрическими признаками, что в целом нехарактерно для исследуемого района и обусловлено высокой крутизной склона. Наибольшая вертикальная мощность шлейфа на участке, коррелятном ложбине, достигает 2,0 м.

По результатам исследований составлены шесть геоморфологических профилей денудационно-аккумулятивной склона с разрезами до коренных пород (табл. 2).

Шурфы показали неоднородное строение шлейфа, сложенного серыми и серо-коричневыми слабогумусированными суглинками с дресвой (до 15—20%) и щебнем (5—10%) и двумя-тремя прерывистыми дресвяно-щебнистыми слоями переменной мощности 2—20 см. Наиболее мощные слои (15—20 см) характерны для глубин 100—130 и 40—70 см в разрезах, коррелятных ложбинам.

Морфологические параметры склонов и скорости денудации, определенные по методу датированного базиса коллювиального шлейфа

№ профиля	$\alpha$ , град	$L_d$ , м	$L_p$ , м	$L_a$ , м	$h_a$ , м	$S_a$ , м <sup>2</sup>	$v_d(v_0)$ , мм/год ( $10^{-3}$ м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·год)
1	33	12	16	6	0,7	2,8	0,03
2	39	26	38	16	2,0	17,0	0,09
3	39	25	30	7	1,3	5,5	0,03
4	36	34	42	13	1,7	13,0	0,06
5	38	38	46	12	1,2	9,5	0,04
6	35	30	35	8	1,7	9,0	0,05

Обозначения:  $\alpha$  — средняя крутизна денудационного склона;  $L_d$  — длина современного денудационного склона;  $L_p$  — длина реконструированного денудационного склона (в среднем голоцене);  $L_a$  — длина поверхности шлейфа по профилю;  $h_a$  — максимальная вертикальная мощность шлейфа;  $S_a$  — площадь вертикального продольного сечения шлейфа.

1) нечетные профили заложены по увалам, четные — по ложбинам, 2) длительность формирования шлейфа, используемая в расчетах, 5500 лет (средняя датировка образования уступа луговой террасы [8]).

Объемная скорость денудации определяется по формулам (1) или (2). В данном случае  $L$  — средняя за верхнюю половину голоцена длина денудационного склона, равная примерно полусумме длин современного и реконструированного денудационных склонов. При расчете не учитывался некоторый объем транзитно-аккумулятивного материала, находящийся выше морфологически очерченной границы шлейфа и рассматриваемый в качестве транзитного.

В табл. 2 приведены результаты измерений по шести профилям и расчетные величины темпов денудации за последние 5—6 тыс. лет.

**Заключение.** Методы дендрозкранов и датированного базиса аккумуляции склонового материала дают сопоставимые оценки скорости денудации криповых склонов средней крутизны (26—37°): минимальная — 0,03 мм/год и средняя — 0,04—0,06 мм/год. Учитывая сравнительно небольшой разброс данных по двум независимым методам, можно заключить, что именно эти величины в большей степени соответствуют действительности. Что касается достоверности оценки скорости отступления склона по обнаженным корням, предложенной в данной работе, то, как было отмечено, «среднемаксимальная» линейная скорость денудации характеризует лишь отдельные участки склонов, на которых активность крипа предполагается выше «фоновой». Вероятно, мы имеем дело с неравновесным балансом рыхлого материала в пределах одного склона, что в целом подтверждается переменной мощностью отложений и собственно микрорельефом. Величина расчетной «среднемаксимальной»  $v_d$  порядка 0,20—0,25 мм/год для криповых склонов крутизной 26—37° заметно выше реальной средней, что следует объяснить естественным ограничением примененной методики или более высокой современной скоростью отступления склона по сравнению со средней позднеголоценовой. Однако всего трех-четырекратное отличие этой величины от скорости денудации, рассчитанной по объему коллювиального шлейфа, позволяет принять их как в принципе сопоставимые. Уместно заметить, что при обычном расчете  $v_d$  ее значения будут в 3 раза выше, т. е. 0,5—0,8 мм/год [1, 3, 4]. «Среднемаксимальная» скорость отступления пологих криповых склонов нуждается в обстоятельной проверке; относиться к ней следует осторожно. Порядок «среднемаксимальной» скорости 0,7 мм/год для обвально-осыпных склонов косвенно подтверждается ярко выраженной агрессивностью последних по отношению к вышележащим криповым.

Проверочные определения  $v_d$  по обнаженным корням, проведенные в аналогичных природных условиях, но в других районах Южного Сихотэ-Алиня, показали в целом сходные результаты. Полученные данные для склонов восточной и юго-восточной экспозиций крутизной 22—32° (15 анализов) «легли» чуть выше прямой  $l_2 = 0,025t + 3,8$ . Среднемаксимальная скорость отступания обвальноссыпных склонов восточной экспозиции крутизной 45—55° оказалась 0,6 мм/год (7 анализов).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстых Е. А., Клюкин А. А. Методика измерения количественных параметров экзогенных геологических процессов. М.: Недра, 1984. 117 с.
2. Тимофеев Д. А. Терминология денудации и склонов. М.: Наука, 1979. 280 с.
3. Методические рекомендации по фитоиндикации современных экзогенных процессов. Ялта: Гос. Никитский бот. сад, 1987. 41 с.
4. La Marche V. C. Rates of slope degradation as determined from botanical evidence, White Mountains, California//Geol. Surv. Profess. Pap. 1968. V. 352. № 1. P. 341—377.
5. Короткий А. М., Чернышева Э. Н. Зональные черты склоновых процессов в муссонном климате (на примере Сихотэ-Алиня)//Проблемы климатической геоморфологии. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 142—151.
6. Чернышева Э. Н. Специфика развития склонов в условиях муссонного климата//Климатическая геоморфология Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 74—80.
7. Mortinsen H. Eine einfache Methode der Messung der Hangabtragung unter Wald und einigem bisher damit gewonnen Ergebnisse//Z. Geomorphol. 1964. B. 8. № 2. S. 213—222.
8. Короткий А. М. О возрасте «луговой» террасы на реках Приморья//Вопросы стратиграфии и палеогеографии Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. С. 39—58.
9. Короткий А. М., Караулова Л. П., Троицкая Т. С. Четвертичные отложения Приморья. Новосибирск: Наука, 1980. 234 с.

Тихоокеанский институт  
географии ДВО РАН

Поступила в редакцию  
23.03.93

#### QUANTITATIVE ESTIMATE OF SLOPE PROCESSES ACTIVITY IN THE SOUTHERN SIKHOTE-ALIN

V. N. NEVSKY

#### Summary

Three independent methods have been used for quantitative estimation of slope processes activity in the Southern Sikhote-Alin. The dendrochronological methods using uncovered roots and dendroscreen were modified for special freezing conditions with respect to climate of East Russia. The so called «maximum-average» denudation rate is 0,20 to 0,25 mm/year for 25—37° creep slopes and 0,7 mm/year for talus slopes. The minimum denudation rate for creep slopes appeared to be 0,33 mm/year. According to colluvium volume evaluation on a dated terrace surface, average denudation rates on 32—39° creep slopes during the last 5000 years are about 0,04 to 0,07 mm per year.