

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.2(571.5)

АГАФОНОВ Б. П.

ПЛОСКОСТНАЯ ЭРОЗИЯ В БАЙКАЛЬСКОЙ ВПАДИНЕ

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Плоскостная, или делювиальная, эрозия проявляется на значительной части территории Байкальской впадины (рис. 1). Слагается она, как это отмечалось и другими исследователями [1, 2], из капельной и мелкоструйчатой эрозии, смыва мелкозема распластанными потоками воды, скатывания и скольжения обнажившихся обломков пород. Все эти составляющие сноса развиваются в тесной взаимосвязи и взаимообусловленности. Струйчатый и локально-плоскостной смыв мелкозема ослабляет устойчивость крупных обломков, и они скатываются или соскальзывают под действием ударов капель дождя, града, силы тяжести и виброэффекта, вызываемого землетрясениями, обвалами, бурными селевыми потоками, прибоем волн, взрывами, движущимся тяжелым транспортом. Смещающиеся обломки освобождают прикрытую ими площадь для капельного, градового, струйчато-плоскостного воздействия и последующей подготовки новых частиц к гравитационно-вибрационной транспортировке. По мере удаления от бровки склона формируется транзитный слой мелкозема, который закрепляет неустойчиво залегающие крупные обломки. Создается весьма переменчивая, сложная картина проявления плоскостного сноса на одной и той же поверхности склона.

Плоскостной снос в Байкальской впадине разделяется на наиболее интенсивный в гольцах, интенсивный в степи и в лесном поясе на участках с нарушенным почвенно-растительным покровом, слабый в лесостепи и на залесенных крутых склонах с редким древостоем и слаборазвитым травяным покровом (рис. 1).

КОЛИЧЕСТВО МАТЕРИАЛА, ВЫНОСИМОГО В БАЙКАЛ

Плоскостный смыв рыхлого материала непосредственно в Байкал происходит в основном с его северо-западного побережья, где распространены остепненные крутые склоны, подмываемые в основании водой озера. На противоположном, юго-восточном побережье продукты плоскостной эрозии поступают сразу в озеро лишь на отдельных участках преимущественно в центральной части Байкальской впадины (рис. 1). На остальных пространствах этого побережья крутые склоны отделены от озера широкими предгорными шлейфами и низкогорьями с препятствующей делювиальному процессу темнохвойной тайгой с густым подлеском и травостоем.

Для количественного учета поступающего в Байкал материала у основания обрывающихся в озеро типичных склонов устанавливались грунтоуловители с улавливающими отверстиями, направленными навстречу потоку рыхлого вещества. Полученные данные экстраполировались на неохваченные измерениями, сходные по ландшафтно-климатическим и морфологическим условиям участки. Для степных районов Ольхона и Приольхонья приняты показатели, полученные на характерном прибрежном склоне крутизной 44° в районе пади Узур (табл. 1). Склон этот находится в «тени» воздействия преобладающих здесь сильных западных и северо-западных ветров, и уловленное вещество практически отражает интен-

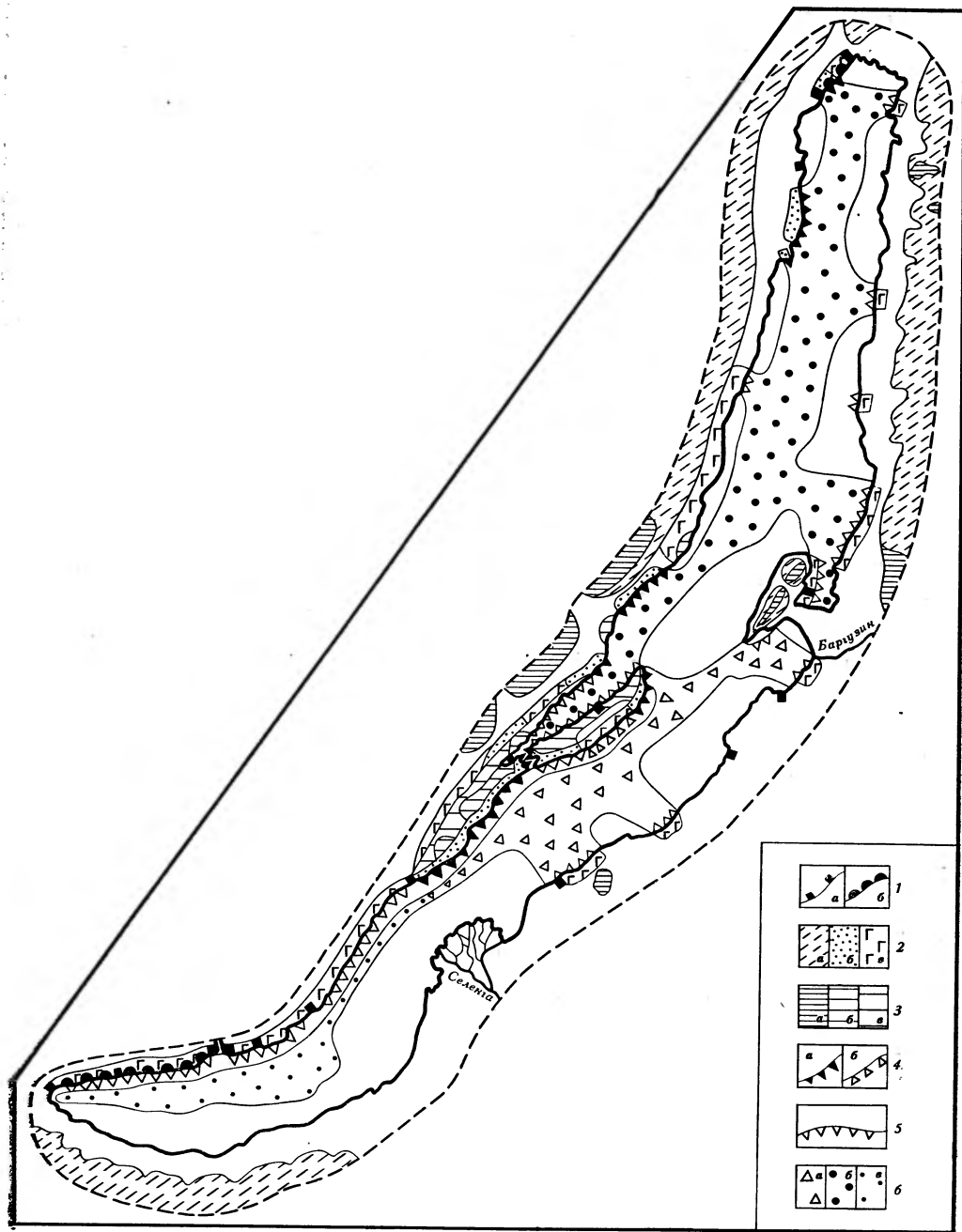


Рис. 1. Схема распространения плоскостной эрозии в Байкальской впадине

1 — очаги ускоренной эрозии на участках с нарушенным растительным и рыхлым покровом: *a* — у населенных пунктов, *б* — вдоль железных дорог; 2 — смыв с активным гравитационно-вибрационным скатыванием и соскальзыванием обломков на крутых склонах: *a* — особо интенсивный в гольцах, *б* — интенсивный в степи, *в* — слабый в лесостепи и в лесу с редким древостоем и слабо развитым дерном; 3 — смыв на пологоволнистых поверхностях выравнивания: *a* — наиболее интенсивный в гольцах, *б* — менее интенсивный в степи, *в* — слабый в лесостепи; 4—5 — участки смыва рыхлого материала непосредственно в оз. Байкал со среднегодовым расходом минерального вещества в тоннах через погонный километр береговой линии: 4 — интенсивного — *a* — 2,3; *б* — 1,54, 5 — слабого — 0,05; 6 — ареалы возможного распределения и накопления продуктов плоскостного сноса на дне Байкала со средней скоростью в мк/год: *a* — 0,13; *б* — 0,04; *в* — 0,006

Таблица 1

Исходные данные плоскостного смыва в Байкальской впадине через погонный метр в г/год

№ п.п.	Местоположение	Сроки наблюдений					
		21.VI.1969— 17.VIII.1970	17.VIII.1970— 12.VII.1971	12.VII.1971— 23.VI.1972	23.VI.1972— 2.VIII.1974	2.VIII.1974— 27.VI.1975	21.VI.1969— 27.VI.1975 (среднегодовое)
1	Около пади Узур на Ольхоне на склоне длиной 210 м, крутизной 44°, степь	2440	1539	5415	2413	560	2463
		241	48	203	91	64	123
2	Падь Узур, склон крутизной 20°, степь	684	379	—	—	—	532
		42	36	—	—	—	39
3	Падь Узур, склон длиной 300 м, крутизной 24°, в лесу с разреженным древостоем	367	565	1486	403	334	593
		1276	432	1369	535	610	793
4	Около пади Куртэ (южнее Бугульдейки) залесенный склон длиной 290 м, крутизной 34°	2	—	143	5	—	39
		99	—	156	163	—	149
5	Мыс Саса на Ольхоне, склон длиной 50 м, крутизной 10°, степь	—	—	—	—	1,5	—
		—	—	—	—	0,7	—

Примечание. В числителе — минеральное вещество, в знаменателе — органическое.

Таблица 2

Годовое количество плоскостного смыва рыхлого материала в оз. Байкал, т

№ п/п	Районы и протяженность прибрежных склонов, охваченных плоскостным смывом вещества непосредственно в Байкал, км	Сроки наблюдений					
		21.VI.1969— 17.VIII.1970	17.VIII.1970— 12.VII.1971	12.VII.1971— 23.VI.1972	23.VI.1972— 2.VIII.1974	2.VIII.1974— 27.VI.1975	21.VI.1969— 27.VI.1975 (среднегодовое)
1	Весь Байкал, 650	703	460	1616	694	167	722
		141	53	148	82	130	106
	Западное побережье, 591	685	444	1562	676	161	700
		121	43	123	67	115	89
	Восточное побережье, 59	18	16	54	18	6	22
		20	10	25	15	15	17
2	Северная котловина (с Малым Морем и Чивыркуйским заливом)	235	150	526	232	55	238
		26	8	25	14	64	25
	Западное побережье, 246	234	148	519	231	54	236
		23	5	20	9	59	21
	Восточное побережье, 29	1	2	7	1	1	2
		3	3	5	5	5	4
3	Средняя котловина	467	304	1055	461	111	477
		101	30	100	44	42	60
	Западное побережье, 199	450	290	1008	444	106	457
		84	23	80	34	32	48
	Восточное побережье, 30	17	14	47	17	5	20
		17	7	20	10	10	12
4	Южная котловина (западное побережье), 146	1	6	35	1	1	8
		14	15	23	24	24	21

Примечание. В числителе — минеральное вещество, в знаменателе — органическое.

сивность плоскостной водной эрозии. То же можно сказать про залесенные участки, где в расчетах в основном использовались данные по району пади Куртэ, что южнее устья р. Бугульдейки, или же подбирались средние значения по другим более подходящим, близким по природным условиям пунктам измерений.

На основании исходных данных (табл. 1) и их экстраполяции среднегодовой плоскостной снос в озеро Байкал за период наблюдений с 1969 по 1975 г. составил около 722 т минерального и 106 т органического вещества (табл. 2). Из этого количества с северо-западного побережья поступает 700 т, а с юго-восточного всего 22 т минерального материала в год. В южной котловине весь, а в северной почти весь материал сносится с северо-западных бортов. В среднюю котловину с северо-западного борта поступает около 457 т минерального вещества, что в 22 раза больше, чем с юго-восточного берега (см. табл. 2).

Резко неравномерен снос продуктов выветривания по котловинам: в южную поступает всего около 8 т, в северную — 236 т, а в среднюю — 477 т. Различия в сносе органического вещества по котловинам выражены в меньшей степени (табл. 2).

Поступление минерального и органического вещества в Байкал необычайно усиливается во время ливней. За 6-летний период наших наблюдений максимум сноса связан с бурными июльскими ливнями 1971 г., когда выпало 2,5—3 месячных норм осадков. За год в Байкал было снесено свыше 1600 т терригенного вещества (табл. 2), т. е. в 2,2 раза больше среднегодовой нормы выноса. Со склонов были удалены подготовленные к перемещению разрыхленные продукты горных пород, вследствие чего произошло некоторое ослабление плоскостного сноса в последующие годы.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ СМЫВАЕМОГО ВЕЩЕСТВА

На характерных остепненных крутых склонах, обрывающихся к урезу Байкала, в продуктах плоскостного сноса (среднегодовые данные) преобладают частицы более 10 мм; меньшими пиками на гистограммах выделяются грубые (1—2 мм) и мелкие (0,1—0,25) песчаные фракции (рис. 2). Эта закономерность нарушилась в период с 12 июля 1971 г. по 23 июня 1972 г., на который приходятся исключительно бурные ливни и обусловленное ими максимальное годовое количество смытого вещества (табл. 1). В этот период на гистограммах выделились только «песчаные» пики, а крупных обломков вынесено непредвиденно мало. Здесь проявилась какая-то особая закономерность, возможно, связанная с явлением прерывистой денудации [3]. Суть этого явления заключается в том, что при интенсивном денудационном срезании одних участков предохраняются от разрушения другие участки, расположенные по ходу движения рыхлого материала. Грунтоуловители, находящиеся в нижней части склона, могли оказаться в зоне транзита и временной аккумуляции мелкозема, воспрепятствовавшей скатыванию крупных обломков.

На склоне меньшей крутизны (24°) вероятность скатывания крупных обломков уменьшается и частицы свыше 10 мм преобладают только на двух гистограммах — за 1970—1971 и 1972—1974 гг. Такому характеру гранулометрического состава благоприятствовали здесь и иные ландшафтные условия. Склон зарос разреженным сосняком; образующаяся лесная подстилка хотя и прерывиста, но препятствует сносу минеральных частиц. В уловители в основном поступают продукты растительного опада, вместе с которыми иногда вовлекаются крупные обломки и мелкозема.

Интересно отметить, что на субгоризонтальных поверхностях, где нет возможности скатывания обломков пород и происходит в основном не смыв, а дефляция, во все годы наблюдений в продуктах поверхностного сноса преобладали мелкопесчаные фракции 0,1—0,25 мм (рис. 2). Близкий гранулометрический состав наносов наблюдается в уловителе, установленном в пади Узур вкостр простираания склона и направленном навстречу северо-западным ветрам (рис. 2).

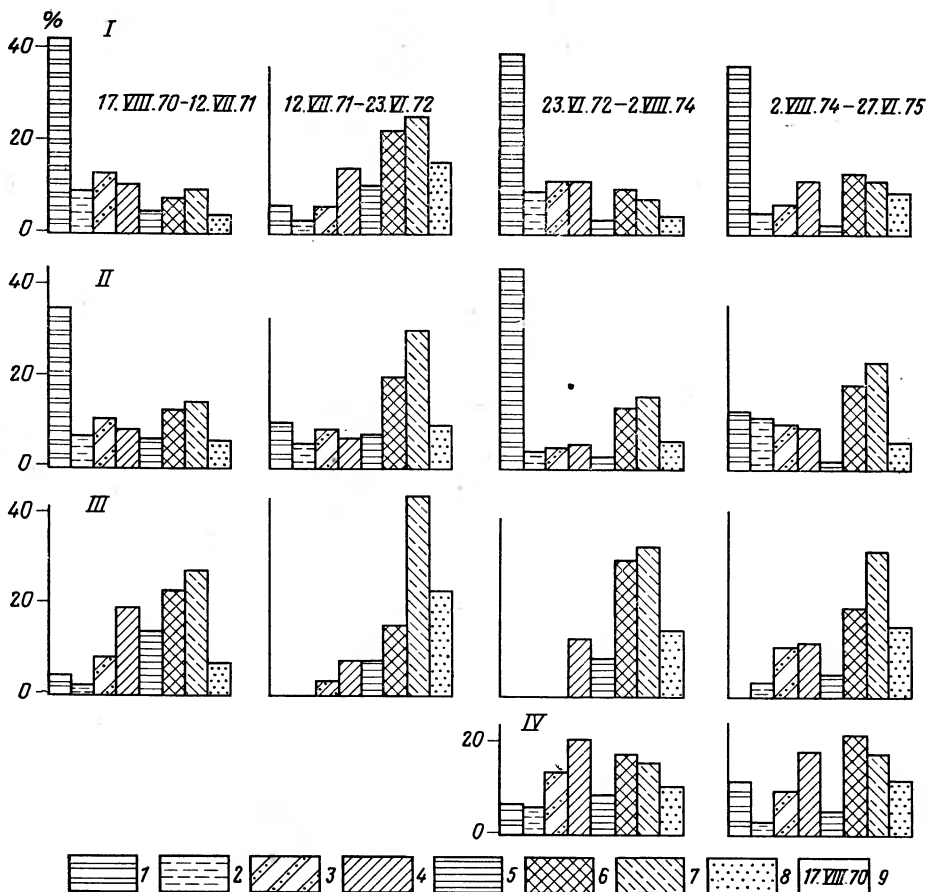


Рис. 2. Гранулометрический состав рыхлого материала, смытого плоскостной эрозией со склонов: остепненного крутизной 44° (I ряд), залесенного крутизной 24° (II ряд) в районе пади Узур на о-ве Ольхон, продуктов ветрового сноса в степи на субгоризонтальной поверхности с уклоном $0,5-1^\circ$ у метеостанции Сарма (III ряд) и на склоне крутизной 20° в пади Узур (IV ряд)

1—8 — фракции, мм: 1 — >10 , 2 — $10-5$, 3 — $5-2$, 4 — $2-1$, 5 — $1-0,5$, 6 — $0,5-0,25$, 7 — $0,25-0,1$, 8 — $<0,1$; 9 — относящиеся ко всему столбцу гистограмм промежуточные сроки отбора рыхлого вещества из грунтоуловителей для гранулометрического анализа. Анализ проведен Т. Ф. Даниловой и Р. Д. Сергеевой

ДЕЛЮВИАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ДЕНУДАЦИИ СКЛОНОВ

Делювиальная денудация рассчитывалась по объему минерального вещества, занесенного в грунтоуловители. Объем материала распределялся на охваченный непосредственными измерениями участок склона от его бровки до подножия. Зависящая главным образом от ландшафтных условий среднегодовая делювиальная составляющая денудации типичных крутых склонов, обрывающихся к Байкалу, изменяется в значительных пределах: от 7,3 мк в степи до 0,0008 мк в лесу с разреженным древостоем. Максимальное значение плоскостной денудации, приходящееся на период 1971—1972 гг., достигло на крутом степном склоне 16,1 мк в год (табл. 3). Такое резкое приращение величины денудации могло произойти всего за 10 ливневых дней с 14 по 24 июля, когда в районе измерений у пади Узур выпало около 170 мм осадков, что составляет около 60% годовой и 250% июльской нормы. В Байкальской впадине тесная зависимость плоскостного сноса от интенсивности жидких осадков выражена особенно четко на крутых склонах [4]. Отмечалась она и в других горных районах [1, 5].

Величины плоскостной денудации существенно различаются по регионам с резко контрастными ландшафтно-климатическими условиями.

Делювиальная денудация склонов Байкальской впадины

№ п.п.	Районы	Плоскостной снос (см ³) через погонный метр в год (за период 1969—1975 гг.)			Денудация, мк		
		средне- годовой	максималь- ный	минималь- ный	средне- годовой	максималь- ный	минималь- ный
1	Степные склоны на Ольхоне и в Приольхонье длиной 200—250 м, крутизной 40—45°	1539	3385	350	7,3	16,1	1,7
2	Там же, степные склоны длиной 300 м, крутизной 20°	333	427	237	1,1	1,4	0,8
3	Склоны с разреженным древостоем на Ольхоне и в Приольхонье длиной 300 м, крутизной 20—25°	371	929	209	1,2	3,1	0,7
4	Залесенные, обрывающиеся к Байкалу склоны между пос. Култук и Бугульдейка, длиной 300—400 м, крутизной 30—40°	24	89	1,2	0,0008	0,003	0,00004

К сожалению, данных об этом виде денудации, а равно и аккумуляции, немного. Это не позволяет провести обстоятельный сравнительный анализ. Можно лишь отметить, что показатели плоскостной денудации в Прибайкалье на крутых степных склонах в 3—4 раза меньше, чем на Кавказе [6] и Тянь-Шане [2]. Весьма интенсивен плоскостной смыв в семиаридных условиях в Южной Аризоне (США). По измерениям на педименте крутизной всего 5° установлено снижение поверхности в среднем на 0,15 и 0,07 мм в год соответственно в 60 и 340 м ниже подножия склона [7]. Еще большие показатели плоскостной денудации получены в центральной Копетдаге со среднегодовым количеством осадков всего 300—350 мм и с сильно разреженной травяной растительностью. Средние величины смыва с пологих водораздельных участков достигают 0,5—1 мм/год, а с крутых склонов (до 35°) на порядок выше [8]. Величины этого же порядка получены некоторыми другими исследователями [9].

Заметим, что в сравниваемых районах плоскостная денудация замечалась на стоковых площадках или способом регистрации высот реперов, заглубленных в почву, а в Копетдаге еще и по обнажившимся корневым системам арчевников. Стоковые площадки обычно изолируются от обмена веществом с окружающей площадью, поток наносов искусственно разрывается, получают данные, превышающие среднюю величину плоскостной денудации всего склона.

Более точные величины денудации получают методом шпилек. Но и при этом, как показали стационарные исследования [1, 5, 8, 10, 11], происходит то снижение, то наращивание одного и того же участка поверхности. Репрезентативные величины среднегодового смыва могут быть получены лишь на основании длинного ряда лет стационарных наблюдений. И эти показатели отразят снижение не всего склона, а лишь тех мест, где велись измерения, в то время как соседние площади будут иметь нулевое значение денудации или наращиваться рыхлым материалом. При оценке достоверности измеренных скоростей плоскостной денудации, достигающих долей миллиметра в год, следует иметь в виду и то обстоятельство, что точность отсчета по шпилькам достигает всего ± 1 —2 мм [1], что не может не отразиться на получаемых данных.

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ОСАДКОАККОПЛЕНИЯ ИЗ ПРОДУКТОВ ПЛОСКОСТНОГО СНОСА

Поступающий в Байкал материал подвергается воздействию волн, подхватывается течениями и распределяется по дну озера. В углублениях его задерживается больше, чем на ровных участках. Как показали непосредственные наблюдения из подводных аппаратов наносы практически не отлагаются на крутых подводных склонах. Такие склоны распространены от пос. Култук до мыса Ижимей и на продолжении мыса Нижнее Изголовье п-ова Святой Нос. Крутизна их достигает 40—60°, и продукты выветривания проносятся по ним транзитом. На подводные склоны от пос. Култук до мыса Облом и от бухты Сосновка до пос. Нижнеангарск продукты делювиального сноса с берега практически не поступают из-за густой растительности. Некоторые возвышенные участки на дне Байкала (Академический хребет) удалены от берегов и изолированы от попадания продуктов выветривания с надводных склонов (рис. 1), за исключением тончайших взвешенных частиц и вещества, выпадающего из воздуха. Площади возможного осадконакопления без этих участков в северной, средней и южной котловинах составляют соответственно 8300, 5200, 3400 км². Среднегодовой слой наносов при равномерном их распределении по этим площадям равен 0,02, 0,06 и 0,0015 мк, а в среднем в расчете на все три котловины — 0,03 мк (табл. 4). В период максимального проявления плоскостного сноса, приходящийся, как уже отмечалось, на 1971—1972 гг. (табл. 1 и 2), осадочный слой составил в северной котловине 0,04, средней 0,13, южной 0,006 мк.

Годовая норма осадконакопления в Байкале, рассчитанная по гидрохимическим данным [12], равна 0,0417 мм, или 41,7 мк. Плоскостной снос вносит в эту норму весьма незначительную долю — чуть более 0,14% в среднюю, около 0,05% в северную и всего 0,004% в южную котловину озера. Главенствующая роль в осадконакоплении принадлежит, следовательно, другим процессам: селям, паводкам, абразии, дефляции, оползням, курумам и т. п. Надо полагать, что малое значение плоскостного сноса в осадконакоплении имеет место не во всех озерах. В гольцовых, семиаридных условиях, а также в районах с уничтоженным или чрезмерно нарушенным дерново-растительным покровом этот процесс играет более значительную роль в формировании озерных отложений. Полученные нами величины плоскостного сноса отражают природный, практически не ускоренный его ход. Локальная активизация эрозии у поселков проявляется в отдалении от берега и поэтому заметно не отражается на общем объеме поступающих в Байкал продуктов плоскостного сноса.

В заключение следует отметить, что в отличие от залпового узлокализированного выноса селей, паводков, сплывов, оползней делювиальный процесс сравнительно равномерно «распределяет» рыхлый материал вдоль берега, снабжая органическими и минеральными продуктами питания водные организмы мелководной зоны на обширных пространствах между устьями рек. Рыхлый материал поступает небольшими порциями,

Таблица 4

Делювиальная составляющая аккумуляции на дне Байкала (за период 1969—1975 гг.)

№ п.п.	Площади возможного осадконакопления в разных частях озера, км ²	Количество смытого минерального вещества в Байкал, м ³ /год			Осадконакопление, мк		
		среднего- доевое	максималь- ное	минималь- ное	среднего- доевое	максималь- ное	минималь- ное
1	Северная котловина (с Малым Морем и Чивыркуйским заливом), 8300	149	329	34	0,02	0,04	* 0,0001
2	Средняя котловина, 5200	298	659	69	0,06	0,13	0,01
3	Южная котловина, 3400	5	22	0,6	0,0015	0,006	0,0002
4	Весь Байкал, 16900	452	1010	104	0,03	0,06	0,006

не нарушая сложившиеся мелководные биотопы, что также не свойственно перечисленным процессам залпового сноса, особенно селям, которые, как отмечено на шельфе в районе г. Байкальска, вызывают глубокие изменения бентосных, бактериальных сообществ, химического состава воды, количества органического вещества в грунтах и т. п. [13, 14]. Особенностью плоскостной эрозии является и то, что смываются наиболее подготовленные к усвоению организмами, измельченные и богатые органогенными частицами поверхностные слои почвы, а также многочисленные наземные насекомые, их личинки, черви и т. п., которые сразу же потребляются рыбами, крупными планктонными и зообентосными организмами. Все сказанное позволяет предполагать, что плоскостной снос, а также дефляция в степных и лесостепных районах Байкальской впадины, где эти процессы являются главнейшими поставщиками рыхлого вещества с суши в озеро, имеют немаловажное значение в развитии биоценозов шельфовой полосы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иверонова М. И.* Движение поверхностного рыхлого материала на задернованных горных склонах в лесо-лугостепном поясе северного Тянь-Шаня.— Тр. Ин-та географии АН СССР, 1959, вып. 75, с. 26.
2. *Иверонова М. И.* Опыт количественного анализа процессов современной денудации.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1969, № 2, с. 13.
3. *Агафонов Б. П.* Прерывистая денудация.— Геология и геофизика, 1982, № 9, с. 119.
4. *Агафонов Б. П.* К прогнозированию экзогенных рельефообразующих процессов.— В кн.: Проблемы прогностических исследований природных явлений. Новосибирск: Наука, 1979, с. 92.
5. *Титова З. А.* Динамика современных экзогенных процессов.— В кн.: Изучение степных геосистем во времени. Новосибирск, 1976, с. 49.
6. *Хрисанов В. А.* Масштабы современной денудации Кавказа (на примере Северной Осетии).— Геоморфология, 1979, № 4, с. 81.
7. *Kirkby Anne, Kirkby M. G.* Surface wash at the semi-arid break in slope.— Z. Geomorphol., 1974, Supplement Bd. 21, S. 151.
8. *Горелов С. К.* Развитие процессов поверхностного смыва и линейной эрозии в Центральном Копетдаге.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1974, № 4, с. 90.
9. *Перслегина Р. Е., Тагиев С. Т.* Количественная оценка плоскостного сноса на склонах предгорий Центрального Копетдага (на примере Ашхабадского полигона).— Геоморфология, 1984, № 1, с. 74.
10. *Campbell J. A.* Micro-relief measurements on vegetated shale slopes.— Professional geographer, 1970, № 4, p. 83.
11. *Козлова А. Е.* Количественная оценка процессов плоскостного смыва на склонах в аридной зоне Тургайского прогиба (на примере плато Кызьбeltaу).— Геоморфология, 1977, № 2, с. 70.
12. *Вотинцев К. К., Глазунов И. В., Толмачева А. П.* Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. М.: Наука, 1965. 495 с.
13. *Кожова О. М.* Межгодовые изменения в биоценозах района Утулик-Мурино Южного Байкала.— В кн.: Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы. Иркутск, 1974, с. 160.
14. *Агафонов Б. П.* Сели в Байкальской впадине (типизация, распространение, прогноз и влияние на Байкал).— Водные ресурсы, 1975, № 3, с. 95.

Институт земной
коры СО АН СССР

Поступила в редакцию
10.V.1984

SHEET EROSION IN THE BAIKAL DEPRESSION

AGAFONOV B. P.

Summary

Basing on measurements of the sheet wash performed from 1969 to 1975 the most important indices of the geological activity of the process were quantitatively evaluated. A general amount of the sheet wash into Lake Baikal is estimated to be 722 tons of mineral and 106 tons of organic matter per year. An average layer of mineral particles, when calculated for the area of possible sedimentation in the lake is 0,03 micron. Sheet wash at steep slopes facing the Baikal Lake ranges from 7,3 micron in steppe to 0,0008 micron in open woodland. The values of denudation rate are compared with those obtained for other regions.