



Эрозия в Австралии.

Австралийский континент имеет площадь 7,68 млн. км², из них 40% расположено в аридной зоне со слоем осадков менее 200 мм. Пригодные земли используются для сельского хозяйства, либо урбанизированы, покрыты лесом, заняты шахтами. Пашня занимает 46700 тыс. га, пастбища - 469300 тыс. га. Интенсивно возделывается 24000 тыс. га, из них на 10905 тыс. га выращивается пшеница (1977-82 гг), на 2641 тыс. га - ячмень, на 284 тыс. га - сахарный тростник, на 538 тыс. га - сорго, на 215 тыс. га - подсолнечник, 70 тыс. га используется под виноградники (Clarke,1986). В аридной зоне пастбища занимают 3356 тыс. га, из них 55% нуждаются в выправлении, в том числе 33% с применением различных противозерозионных сооружений. Во внеаридной зоне пастбища находятся в лучшем состоянии, однако здесь более 60 % пашни подвержено эрозии (табл.1). В Новом Южном Уэльсе (НЮУ) 61% территории занимают пастбища, 14,5% - пашня, 0,3% - сады и огороды (Graham et al.,1988).

Таблица 1. Подверженность сельскохозяйственных земель Австралии во внеаридной зоне различным видам эрозии (Rowan,1986).

	пастбища во внеаридной зоне	пашня экстенсив- но используемая	пашня интенсивно используемая
общая площадь тыс. км ² / %	1337 / 100	443 / 100	24/100
с водной эрозией	976 / 73	297 / 67	10/42
с ветровой эрозией	13 / 1	75 / 17	
со смешанной водной и ветровой	40 / 3	62 / 14	
необходимо выправление без применения сооруже- ний	227 / 17	142/32	7/30
необходимо выправление с применением сооруже- ний	267/20	151 / 34	4/17

Подобная структура землепользования определила соотношение главных видов эрозии. В НЮУ на 25% земель проявляется ветровая эрозия от умеренной до очень сильной. Овражная эрозия (от умеренной до экстремальной) развита на 21% террито-

рии НЮУ, а общий объем овражных форм составляет здесь около 3,2 млрд.м³. Плоскостная эрозия (от умеренной до экстремальной) проявляется на 2,8% территории штата, а общий объем перемещенных почв за последние 100 лет наиболее интенсивной эрозии составил здесь около 6,3 млрд. м³. Ирригация осуществляется на 1,3% территории штата, однако главные связанные с ней проблемы - это засоление почв и подъем грунтовых вод (Graham et al.,1988).

Эрозия на пашне.

Многолетние наблюдения за интенсивностью эрозии в Австралии проводятся в основном на востоке страны. Если использовать данные по эрозионным станциям, расположенным примерно по меридиану (Freebairn,1982), то видно, что с юга на север увеличивается количество и интенсивность осадков (эрозионный потенциал дождя Р по Уишмейеру-Смиту) и в соответствии с этим увеличивается средняя интенсивность эрозии (рис.1, табл.2).

Карта эрозионного потенциала для территории Австралии

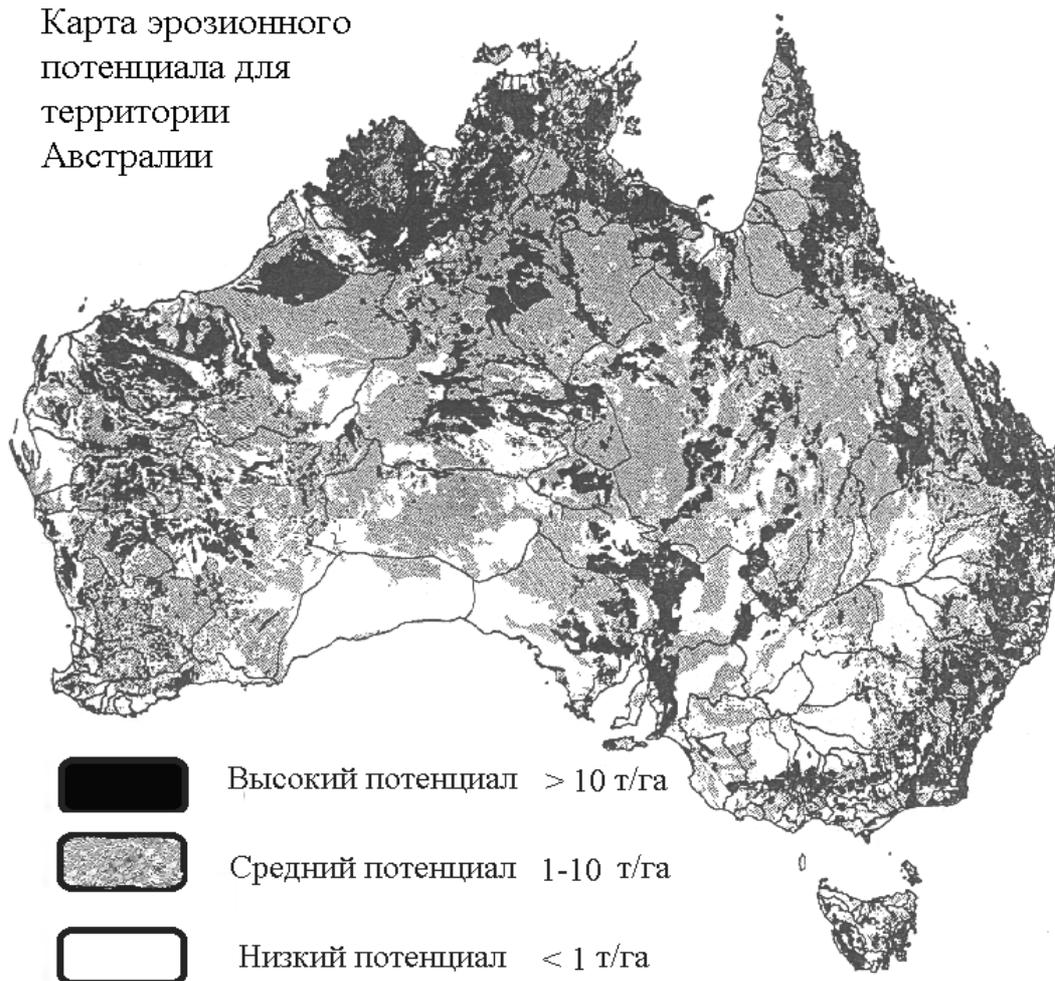


Таблица 2. Интенсивность эрозии на стоковых площадках в Австралии

станция	интенсивность смыва т/га в год	эрозионный потенциал дожда $P=EI_{30}$
Вогга-Вогга	2	100
Ганнада	7	147
Гринмаунт	53	196
Гринвуд	36	168
Намбур	148	864
Маккей	227	1156
Иннисфайл	380	1601

Для станций, расположенных на территории Нового Южного Уэльса в пределах "пшеничного пояса" (Ковра, Джинниндерра, Ганнада, Инверелл, Вогга-Вогга, Веллингтон), К.Эдвардс (1991) обработал данные для 2040 площадко-лет наблюдений. Средний смыв с площадок без растительности при уклонах 4-11 % составил 57,8 т/га; с площадок с яровыми культурами - 8,1 т/га; с озимыми - 1,5 т/га. Он же обобщил некоторые разрозненные сообщения различных авторов. Так, смыв с полей сахарного тростника на севере Квинсленда составляет 70-150 т/га за сезон, и до 380 т/га. Применение противоэрозионных мер снижает смыв до 23 т/га (выжигание остатков без последующей распашки) и до 5 т/га (без выжигания и распашки). Наблюдения у г.Капелла (центральный Квинсленд) на полях площадью 10-16 га показали существенную зависимость смыва от характера землепользования (табл.3). Смыв с посадок ананасов у Намбуга (юго-восток Квинсленда) при уклонах 11-17 % составил 7-36 т/га в год (4-х летние наблюдения). На полях картофеля в Западной Австралии длиной 50-120 м, крутизной 8-20% и с посадками по уклону зафиксированы скорости смыва 140-690 т/га. На свежераспаханных полях смыв здесь достигает 32-350 т/га за один ливень. Стефенс и др. (1945) установили, что в Южной Австралии на 76% распаханых красно-бурых почв за 50 лет обработки смыто более 25% почвенного профиля, а на наиболее крутых склонах (7% площади) - более 75% профиля. Это соответствует интенсивности смыва 15 т/га и 30 т/га в год соответственно.

Таблица 3. Смыв с полей (т/га) в центральном Квинсленде при разном типе землепользования в 1985-1986 гг.

Культура	Без распашки	Уменьшенная распашка	Полная распашка
Подсолнечник	1,3	4,8	8,8

Сорго	4,3	6,3	16,1
Пшеница	0,0	0,35	2,5

Одной из главных особенностей эрозионных процессов в Австралии является очень большая пространственная и временная изменчивость слоя и интенсивности осадков. Она приводит и к существенным колебаниям величины эрозии. Так, на станции Гринмаунт (Квинсленд) в разные годы смыв с целины с выжженной растительностью изменяется от 0 до 140 т/га (табл.4). На станциях Вогга, Ковра и Ганнада смыв во время одного и того же дождя на дублирующих эрозионных площадках с одинаковыми условиями может различаться почти на порядок (табл.5)

Таблица 4. Изменчивость смыва с целины E т/га в год в районе станции Гринмаунт (по Littleboy et al.,1992)

год	E т/га						
1978	4,5	1981	99,6	1984	24,1	1987	14,5
1979	30,6	1982	27,6	1985	0,0	1988	140,0
1980	120,6	1983	67,0	1986	17,4	1989	1,6

Таблица 5. Сопоставление стока воды и смыва на площадках-дубликатах при одном и том же дожде (по Edwards, 1985)

Станция	Время	Площадка 1		Площадка 2		Площадка 3	
		сток во- ды мм	смыв почвы кг/га	сток во- ды мм	смыв почвы кг/га	сток во- ды мм	смыв почвы кг/га
Вогга	10/4/70	9,3	15864	17,3	4995	11,2	3647
	8/5/52	16,0	2247	9,1	1763	2,5	160
Ковра	31/5/52	91,7	23460	81,3	4864	70,4	10007
	31/3/45	6,6	5784	9,1	5224	7,1	2061
Ганнада	17/11/69	15,2	2440	17,5	19340	16,5	3454
	28/3/72	5,6	2390	7,1	4898	6,1	5341

Хорошая корреляция среднегодового смыва с величиной эрозионного индекса дождя указывает на возможность модификации Универсального уравнения почвенной эрозии (УУПЭ) к условиям Австралии. Модификация, которая базируется на пересмотренном Универсальном уравнении почвенной эрозии (RUSLE), реализована К.Розевеллом (1993) в виде программного комплекса SOILOSS. Основные факторы

УУПЭ откалиброваны по данным измерений на стоковых площадках Нового Южного Уэльса. Хорошая сходимость результатов расчетов и измерений позволила авторам программы рекомендовать ее для выбора систем севооборота и типа почвоохранного землепользования.

В тропической части Австралии применимость УУПЭ обоснована сотрудниками исследовательской станции Тувумба (Квинсленд) Фриберном, Сильбурном и Лочем (1989). Расчеты среднегодовой эрозии с прямым использованием параметров УУПЭ из руководства Уишмейера-Смита (1978) хорошо коррелируют с данными измерений (табл.5).

На основании программы SOLOSS К. Розевеллом (1996) осуществлено вычисление эрозионного потенциала для всего континента Австралия и для Тасмании. Информационной базой для вычислений являлись цифровые карты континента с разрешением $0,025^\circ$ для слоя осадков и их интенсивности, типа почв и ее эродированности, геоморфологического типа местности с характерными уклонами и длинами склонов, типа растительности и ее сомкнутости, характера землепользования. Составлены таблицы для перехода от индексов цифровых карт к параметрам расчетной методики, и для каждого выдела $0,025 \times 0,025$ градуса рассчитан эрозионный потенциал в т/га в год (рис.1). Общая величина годового смыва за счет плоскостной и борозковой эрозии оценивается в этих расчетах в 13,94 млрд. т, из них 69% приходится на бассейны, имеющие выход к океану (Wasson et al., 1996).

Одновременно предпринимаются попытки создания моделей эрозии, основанных на решении уравнений стока воды и наносов с учетом влияния урожайности на эрозию и наоборот. Разработана подобная модель PERFECT, включающая 6 блоков: ввод данных, баланс воды, развитие растительности, формирование растительных остатков, эрозия, вывод результатов расчета (Littleboy et al., 1992). Модель описывает 89% изменчивости стока воды, 84% изменчивости почвенной влаги, достаточно точно оценивает среднюю годовую эрозию (табл.6), но существенно хуже эрозию при конкретном дожде. Эрозионный блок базируется на детальном уравнении баланса наносов, предложенных К.Роузом (1985), хотя возможно использование и более упрощенных подходов, типа Модифицированного универсального уравнения почвенной эрозии (Williams, 1975).

Таблица 5. Измеренные E_o и рассчитанные по УУПЭ E_c значения среднегодового смыва почв в Квинсленде (т/га)

Тип обработки	станция Гринмаунт	станция Гринвуд
---------------	-------------------	-----------------

	E_o	E_c	E_o	E_c
зимой культура - летом пар				
черный пар	61	56	32	23
запашка пожнивных остатков	18	27	8	11
мульчирование	5	17	4	9
целина	2	11	2	5
летом культура - зимой пар				
запашка пожнивных остатков	22	46	20	20

Таблица 6. Измеренные в 1978-88 гг и рассчитанные по модели PERFECT значения среднегодового стока воды (P_o и P_c) и смыва почв (E_o и E_c) на станции Гринмаунт в Квинсленде (т/га) при слое годовых осадков 735 мм (по Freebairn et al., 1991).

Тип обработки	P_o мм	P_c мм	E_o т/га	E_c т/га
черный пар	74	75	49	56
дискование	56	59	16	13
мульчирование	53	55	6	4
целина	61	58	3	2

Большое значение имеет развитие неглубоких эрозионных борозд на склонах, их часто называют эфемерными оврагами. Мур с соавторами (1988) показал, что формирование таких борозд определяется как стоком грунтовых вод в верхней части склона, так и концентрированным стоком поверхностных вод в нижней. Получены критические соотношения средней длины склона A_b и уклона S : для начала образования борозд характерны соотношения $\ln(A_b/S) > 6,8$ и $A_b \times S > 18$.

Эрозия почв существенно влияет на урожайность. Для стоковых площадок Вогги-Вогги Авеярд (1983) показал, что на площадках со общим смывом в 1947-76 гг 10 т/га урожайность в 1977-79 гг. не отличается от урожайности на неэродированных почвах. Однако уже при эрозии 20 т/га урожайность составила 78% фоновой, при смыве 35 т/га - 60%, а при смыве 65 т/га (2,2 т/га в год) урожайность уменьшается до 45% фонового. Для площадок станции Ганнада (26 лет наблюдений) смыв существенно меньше влияет на продуктивность - максимальный общий смыв 200-220 т/га привел к умень-

шению урожайности на 20%, при меньшем смыве продуктивность линейно увеличивается.

Для 5 станций был проведен эксперимент по механическому удалению слоя почвы до 150 мм и последующему выращиванию 6-10 лет севооборота пшеница - многолетние травы (Hamilton, 1970). Подобные эксперименты не учитывают всех сторон эрозионного процесса, например селективного выноса мелких частиц и биогенов. Тем не менее, их результаты показательны (табл.7).

Таблица 7. Влияние удаления слоя почвы мощностью Н мм (и эквивалентного смыва Ет/га) на последующее уменьшение урожайности (в % от ненарушенной почвы) на почвенных станциях Нового Южного Уэльса

Н мм	Е т/га	Вогга-Вогга	Ковра	Веллингтон	Ганнада	Инверелл
10	120		15,0			
30	360				13,0	
75	900	45,8	27,9	21,3	9,5	6,1
150	1800	51,4	51,9	30,8	29,1	19,1

Эрозия на пастбищах.

Интенсивность плоскостной эрозии на пастбищах незначительна. А.Константини (1992) проводил исследования смыва почв на 15 стоковых площадках площадью по 200 м², на 5 площадках почва была лишена растительности, на остальных 50% покрытие травами. Измерения показали более чем 40 кратное увеличение смыва на оголенных почвах (табл.8). Наблюдения близ Канберры в течении 4 лет на водосборе площадью 88 га с окультуренным пастбищем показали скорости эрозии 0,004-0,376 (в среднем 0,191) т/га. Для выявления влияния степени сомкнутости растительного покрова на пастбищах Р.де Ландж и Л. Маккафри (1984) обработали результаты наблюдений за смывом с 9 стоковых площадок на станции Ганнада площадью по 0,1 га с уклоном 12% с глинистой шоколадной почвой при естественных дождях и различной степени сомкнутости растительного травянистого покрова. Для периода 1965-75 гг получена зависимость величины смыва от величины сомкнутости.

Таблица 8. Соотношение смыва почв на оголенных почвах и на пастбищах

Н пло- щадки	слой стока за час мм	Коэффициент стока %	слой осадков за час мм	смыв за час т/га	плотность покрытия травой %
3	8,96	13,9	58,2	18,0	10%

5 0,94 1,5 64,4 0,4 50%

Для станций Нового Южного Уэльса в пределах "пшеничного пояса" К.Эдвардс (1988, 1991) сообщает данные наблюдений для 1700 площадко-лет на 89 площадках. Средний смыв с площадок с посевами трав составил 0,33 т/га в год; с умеренно нарушенного пастбища - 0,21 т/га; с малонарушенного пастбища - 0,04 т/га, при средней интенсивности смыва 0,21 т/га. В то же время для водосбора Ногоа (Квинсленд) Силбурн и др. (1992) приводят скорости смыва на пастбище 20-25 т/га при покрытии растительностью 0-5%, 10-15 т/га в год при покрытии 10% и 1 т/га при покрытии 30%. Эрозия практически незначительна при покрытии растительностью более 40% поверхности пастбища.

Овражная эрозия

В Австралии овражная эрозия существенно более значима, чем на многих других сельскохозяйственных территориях. В Новом Южном Уэльсе 37% всех наносов за последние 100 лет перемещены в ходе овражной эрозии. На тропическом водосборе р.Орд (Западная Австралия) в настоящее время до 60-80% стока наносов формируется за счет овражной и русловой эрозии, причем максимум выноса из оврагов уже прошел (Wasson, 1992). Для сравнения, на территории Русской равнины за 300 лет интенсивного землепользования из 100 млрд. м³ перемещенных почв лишь 4% размыты в ходе овражной эрозии (Сидорчук, 1995). В нижней части долины р.Намой (северо-восток НЮУ) в 1945 г овраги были развиты на 23% территории, в 1967 г на 26%, в 1975 - на 39% территории и в 1984 - на 41%. Общая годовая интенсивность овражной эрозии в Австралии оценивается в 14 млрд. т (Wasson et al., 1996).

Зарождение основной массы оврагов Австралии относится к 1850-1910 гг. (Wasson, Clark, 1978). Различные источники периода начала освоения европейцами Нового Южного Уэльса и Виктории часто упоминают о развитии в широких речных долинах цепочек прудов - округлых или овальных бассейнов диаметром или длиной 6-60 м в аллювиальных отложениях. Переход от цепочки прудов к врезанному руслу (оврагу) был прослежен Р.Йилсом (1977) на примере ручья Бирчамс Крик в бассейне реки Ясс. Начало освоения водосбора относится к 30-м гг. 19 в., однако вплоть до начала 20 в. лес здесь не вырубался. В период 1925-72 гг. водосбор использовался уже как пастбище с нагрузкой 3-4 овцы на акр. Картографические материалы показывают, что врезание ручья началось примерно в 1910 г. Оно привело к разрушению цепочки прудов в нижней части ручья. Некоторые прудки были занесены наносами (в одном из таких

заиленных прудков датировка по ^{14}C дала возраст 90+/- 125 лет), на месте других образовались местные врезы. К 1975 г. системы прудков разрушены в нижней и верхней частях ручья, а в средней части еще сохранились. Врезание вызвано увеличением стока воды при вырубке эвкалиптового леса и уменьшении водопроницаемости поверхностного слоя почвы. Развитие их происходило неравномерно, в соответствии с изменениями климатических факторов и характера землепользования.

Д. Берд (1982) проследила эволюцию долины ручья Иглхок Крик, Гипсланд, штат Вирджиния. В начале европейского залесения около 100 лет назад ручей прокладывал себе путь в заболоченном днище долины. Работы по устройству дренажа привели к врезанию русла на 15 м. Хотя причиной врезания было антропогенное вмешательство, его темпы определялись величинами стока воды. В маловодные периоды врезание замедлялось, формировались террасы.

Не всегда совершенно точно можно связать эрозию в гидросети с деятельностью человека. Р.Йилс (1977) провел подробное исследование ручья Барра Крик, бассейн р. Квинбеан. В настоящее время ручей врезан практически до водораздела, бывшая пойма представляет собой террасу высотой 2,8 м. На плане 1836 г. ручей Барра Крик показан, как цепочка прудов. Однако в газетах 1848 г. сообщается, что в овраге находили убежище разбойники. Имеются указания о сложности форсирования ручья воловьими упряжками. По данным Ковентри(1967) в юго-восточной Австралии примерно 1500 лет назад начался этап общего врезания гидросети. Р.Йилс полагает, что врезание Барра Крик связано с этим этапом, а антропогенные изменения на водосборе только усилили этот процесс. Эти антропогенные изменения включают: прокладку дренажных канав, из которых развивались овраги; распашка склонов по уклону; дренирование болот на дне долины путем распашки днища; вырубку лесов в нижней части водосбора и создание пастбищ с 1861 г., что вызвало увеличение стока воды; полное уничтожение скотом и кроликами травянистой растительности во время засух (например, 1895 и 1915 гг.). Йилс провел классификацию типов русла ручья по степени эрозии по аэрофоснимкам 1944, 1968 и в ходе полевого обследования 1975 г. Он показал, что эрозионная активность в пределах водосбора с пастбищами была выше в 1944 г., когда было много кроликов, не применялись удобрения, не было системы прудов на водосборе, 10-20 дождей были стокообразующими. В этот период 45% длины ручья было затронуто процессами сильной и очень сильной эрозии с врезом более 2-3 м, интенсивно размываемыми бортами. К 1968 г. кроликов стало мало, пастбища были окультурены, возросло число прудков на водосборе, только дожди со слоем осадков более 50 мм дают сток. Доля

длины ручья с проявлениями сильной и очень сильной эрозии уменьшилось до 39%. В 1975 г. она сократилась до 23,3%. Однако в верхней залесенной части водосбора, где происходят в основном естественные процессы, ручей врезан в пойму на всем своем протяжении и процесс врезания не затухает. В 1975 г. по данным Йилса 60% длины ручья в верхней части было затронуто сильной и очень сильной эрозией. Она происходила в форме локальных донных врезов. Так, во время дождя в июле 1975 г. со слоем стока 50-75 мм возник локальный донный врез (овраг Йилса) объемом 40 м^3 и длиной 3 м. Наблюдения за увеличением этого вреза продолжали сотрудники Службы охраны почв НЮУ до 1989 г. В феврале 1992 г. наши изыскания в овраге Йилса показали, что этот донный врез слился с донным врезом, который располагался выше по течению ручья и исчез как самостоятельное образование. Обследование верхней части ручья Барра Крик показало, что такие донные врезы развиты по всей его длине в пределах залесенного и не затронутого антропогенной деятельностью водосбора, борта русла ручья активно подмываются потоком.

Подобные прерывистые донные врезы описаны Нансоном и Эрскиным (1988) для верхнего участка ручья Боро Крик (бассейн реки Шоалхавен). Их наличие здесь полностью контролируется гидравлическими факторами - врез возникает при превышении критического сочетания уклона дна и площади водосбора ручья. Незатронутое донными врезами днище ручья представляет собой цепочку прудов.

Проссер, Шепелл и Гиллспи (1992) провели подробное геолого-геоморфологическое исследование истории аккумуляции и размыва наносов в долине ручья Вангра Крик (бассейн р. Марамбиджи) на протяжении позднего плейстоцена - голоцена. Показано, что длительные периоды аккумуляции наносов 34000-14000, 13000-8000, 5000-3000, 2900-100 лет назад связаны с медленной денудацией на склонах (1,1 мм/ 1000 лет) и тем не менее образованием заболоченного днища ручья. Эти периоды прерывались относительно короткими этапами врезания оврагов на водосборе и самого ручья. Современный период врезания (последние 100 лет) наиболее мощный и явно связан с изменением землепользования на водосборе при европейском поселении. Однако во время предыдущих этапов врезание было незначительно меньше, а причины для смены типа развития бассейна не столь очевидны. Так что история оврагообразования в Австралии еще требует уточнения, и дальнейшей дифференциации влияния главных факторов эрозии - климатических или антропогенных.

К настоящему времени большинство оврагов выработали стабильный продольный профиль, достигли максимальной длины и в настоящее время медленно расширя-

ются за счет выполаживания склонов. Р.Крауч и Р.Блонж (1989) выделяют 4 типа процессов, трансформирующих склоны оврагов: склоновый поперечный размыв, оползание, обваливание и деятельность грунтовых вод. В 26 исследованных оврагах в восточной Австралии, расположенных в различных природных зонах от тропической до умеренной, склоновые размывы наблюдаются на 50% склонов, оползание - на 25%, обваливание - на 15% и деятельность грунтовых вод - на 5% склонов. Измерения 2-3 сезона с помощью эрозионных шпилек показали, что средняя скорость снижения поверхности склонов со склоновыми размывами составляет 20-40 мм /год, что для отдельных оврагов составляет вынос 200 - 1100 т/год. Крауч (1992) получил зависимости скорости снижения поверхности бортов оврагов от типа процесса, Исследования крупного оврага у г. Басурст (Crouch, 1990) показало, что все наносы, выносимые из этого оврага, формируются в результате размыва его бортов склоновыми потоками, механического и химического состава грунтов, глубины оврага и площади водосбора. В этом овраге Хэннем (1983) провел подробные измерения морфометрии поперечных сечений и показал тесную связь относительной ширины вреза от соотношения литологии днища и бортов.

Нами исследовано несколько стабилизирующихся оврагов на юго-востоке Австралии. Овраг Кипит у г. Ганнада (Новый Южный Уэльс) имеет длину 500 м при длине водосбора 1500 м и его площади 46 га. На протяжении 450 м овраг врезан в бурые суглинки, на коротком верхнем участке - в черные сланцы. Продольный профиль в суглинках находится в состоянии динамической устойчивости. До 1920-25 гг. его отметки были близки к современным. В 30-е годы на дне оврага произошла аккумуляция мощностью до 1,5 м. Время этой аккумуляции фиксируется многочисленными пивными бутылками с датами выпуска на донышках, разбросанные по всей толще аккумуляции. В дальнейшем эта толща была прорезана и в 1992 г. отметки продольного профиля были уже несколько ниже отметок 20-х гг.

Были проведены расчеты отметок стабильного продольного профиля и ширины стабильного оврага (Сидорчук, в печати). Неразмывающая скорость для суглинков была определена обратным расчетом по морфологии профиля на нижних 100 м оврага. Она составила 1,5 м/с. Рассчитанный стабильный продольный профиль близок к фактическому, однако возможно продолжение врезания в суглинки в средней части оврага. Конечная длина стабильного оврага Кипит может достигнуть 800 м, его объем - 95440 м³.

Водосбор оврага Змеиный (бассейн реки Сноуи, Новый Южный Уэльс) имеет площадь 11,8 га и общую длину 800 м. Сложен сильно выветренными гранитами, верх-

ние несколько метров представляют собой слабо сцементированную дресву. Современный овраг врезан на выпуклом участке склона, представляющем деллювиально-коллювиальный шлейф. Нижняя часть вреза представляет собой балку с устойчивым днищем и пологими заросшими бортами. Этот участок был использован для расчета неразмывающей скорости, она составила 1,8 м/с. Это значение было использовано для расчета стабильного продольного профиля оврага. Его длина может составить 730 м, объем - 27790 м³.

Вершины стабильных оврагов продолжают медленно отступать из-за обваливания грунта с верховой стенки при просачивании грунтовых вод (Crouch, 1983).

Определение стадии развития оврага имеет существенное практическое значение. Для интенсивно расчлененного оврагами тропического водосбора р.Орд (штат Западная Австралия) предложена схема защиты от овражной эрозии (Tunbridge et al., 1988). Основным методом является сооружение системы водораспределяющих валов на склоне выше оврага. Однако Р.Воссон (1990,1992) показал, что большинство оврагов на водосборе р.Орд практически полностью достигли максимальной длины. Этот факт заставляет пересмотреть проект противоэрозионных мероприятий.

Ускоренная эрозия на территориях горных разработок

Австралия относится к тем странам, где в короткий период было найдено и разработано значительное количество месторождений полезных ископаемых. При этом на значительной части территории разработок почвенный и растительный покров разрушается (табл.9). Однако лишь в последнее время стали обращать внимание на процессы эрозии в период и после прекращения горных работ. При сооружении открытых горных выработок в проект закладываются рекультивационные работы, которые осуществляются на отработанных участках шахты. Обычно это комбинация террасирования выемки, перемещение почвенного горизонта, внесение удобрений и посадки растительности. Многовариантность географических и геологических условий приводят к необходимости разработки конкретных проектов для каждой горной выработки. Например, после извлечения тяжелых минералов из песчаных отложений береговых дюн производится восстановление формы дюн и их стабилизация индуцированной растительностью. Если после извлечения полезного компонента пустая порода обладает агрессивными геохимическими свойствами, которые препятствуют восстановлению плодородия почв и поселению растительности, такая порода захороняется в оболочке из водонепроницаемых глин (Ryan, 1987). Часто рекультивация старых горных выработок, являющихся источником большого количества наносов и агрессивных растворов, тре-

бует создания национальных программ. Так, для рекультивации старых медных рудников Кептан Флат на водосборе р.Молонгло, которые загрязняли водохранилище Лейк Барли Гриффин в центре Канберры, была разработана программа, которая финансировалась как федеральным правительством, так и правительством штата Новый Южный Уэльс.

Таблица 9. Нарушение земель при горных разработках в Австралии(Bell,1986).

Ископаемое	Площадь нарушенных земель, га	Доля рекультивации, %
Уголь	29000	11
Металлы	45000	36
Неметаллы	29000	12
Всего	103000	22

Эрозия на автодорогах

При сооружении автодорог эрозионные процессы приводят как к изменению окружающего ландшафта, так и к повреждению самой дороги. Наибольшее количество наносов поступает в окружающую местность в период строительства дороги, когда большие площади очищаются от растительности и происходит нарушение поверхностного покрова. Поэтому необходимо: 1) сооружать кульверты и организовывать дренаж до начала основного строительства дороги; 2) минимизировать повреждения естественного растительного покрова, особенно вдоль линий стока воды; 3) перемещать верхний плодородный слой почвы и сохранять его для последующей рекультивации нарушенных участков; 4) сооружать ловушки для наносов; 5) земляными валами отводить воду от нарушенных участков; 6) проводить канализацию линий дренажа для предотвращения размыва и формирования оврагов; 7) производить посадку растительности на максимально ранних стадиях строительства. После сооружения дороги с жестким покрытием наносы могут поступать с откосов, которые необходимо задерновывать. Впервые подобная программа выполнялась при сооружении дорог в Снежных горах с легко повреждаемым альпинотипными ландшафтами. Однако до начала 80-х гг. многие противоэрозионные меры принимались на поздних стадиях строительства дорог, и были уже не превентивными, а направлены на исправление допущенных нарушений. В настоящее время работы по минимизации эрозии при дорожном строительстве начинаются на ранних стадиях.

В Австралии имеется довольно густая сеть полевых и лесных грунтовых дорог без какого-либо покрытия. Многолетние наблюдения (1978-90 гг) на лесной дороге в

штате Виктория (Haydon et al., 1991) показали, что смыв с дорожного полотна составил 30 - 35 т/га при высокой транспортной нагрузке и 18-20 т/га при низкой нагрузке, при том , что смыв с залесенного водосбора составил 0,3 т/га.

Эрозия при урбанизации

Австралия одна из наиболее урбанизированных стран мира - 85% ее населения живет в городах. Так, население Сиднея с 1947 по 1981 гг увеличилось с 1,7 до 3,2 млн. жителей.

При урбанизации основное количество наносов удаляется эрозионными процессами на начальных этапах строительства, когда строительная площадка лишена защитного растительного покрова. При этом происходит смыв плодородной почвы, что усложняет дальнейшее создание приусадебных садов и огородов, заиливаются придорожные линии дренажа и естественные водотоки. Интенсивность смыва достигает 500 т/га в год. Система противоэрозионных мер при урбанизации близка к таковой при дорожном строительстве: рекомендуется такая организация строительных операций , чтобы минимизировать время экспозиции эрозионно-опасных земель, в минимальном объеме повреждать естественную растительность, проводить послойное снятие почвенного покрова и складировать наиболее плодородные горизонты для дальнейшего использования , при наличии длительных периодов перерывов в строительстве засеивать участки быстрорастущими травами, сохранять естественную растительность вдоль главных линий стока воды, сооружать прудки по линия стока вод для предупреждения затоплений местности, а также отводные каналы для улучшения условий стока.

Эрозия после лесных пожаров.

Значительные темпы эрозии почв наблюдаются при интенсивных дождях после лесных пожаров. Г.Аткинсон (1984) описал такое явление на водосборе ручья Савиллес Крик к югу от Сиднея. Во время засухи 1983 г. температура воздуха достигала 40° С и это сопровождалось сильными ветрами. (января вспыхнул лесной пожар, уничтоживший 337 га леса. Песчаная почва, слагающая водосбор, была лишена покрова опада и верхнего дернового горизонта и покрыта слоем пепла и угля, нижний ярус деревьев лишился листвы. 26 января выпало 16,5 мм осадков за 45 мин, дожди 16-17 марта (120 мм за 6 часов) и 20-21 марта (100 мм за 27 часов) имели повторяемость раз в 10 лет. Наблюдения на 3 стоковых площадках показали смыв 26 января 0,17-1,4 т/га за эпизод дождя. 35,2% по весу смытого материала составили пепел, уголь и семена эвкалиптов. 17 марта смыв составил 2,2-7,5 т/га при доле органики 22,5%. Эти дожди привели к насыщению почвы водой и ливни 21 марта привели к эрозии 22-40 т/га при доле органики

6,3%. Продукты смыва заполнили дренажную сеть в поселках, этот ливень привел к затоплению глубиной до 1,8 м. Был снесен мост через ручей, повреждены дома и сады. С водосбора было вынесено около 16000 т песка, сформировались эрозионные борозды и овражки на месте дорог и троп. Основная часть песка отложилась у подножия склонов и на пойме ручья, однако часть наносов достигла бухты Хаскинг.

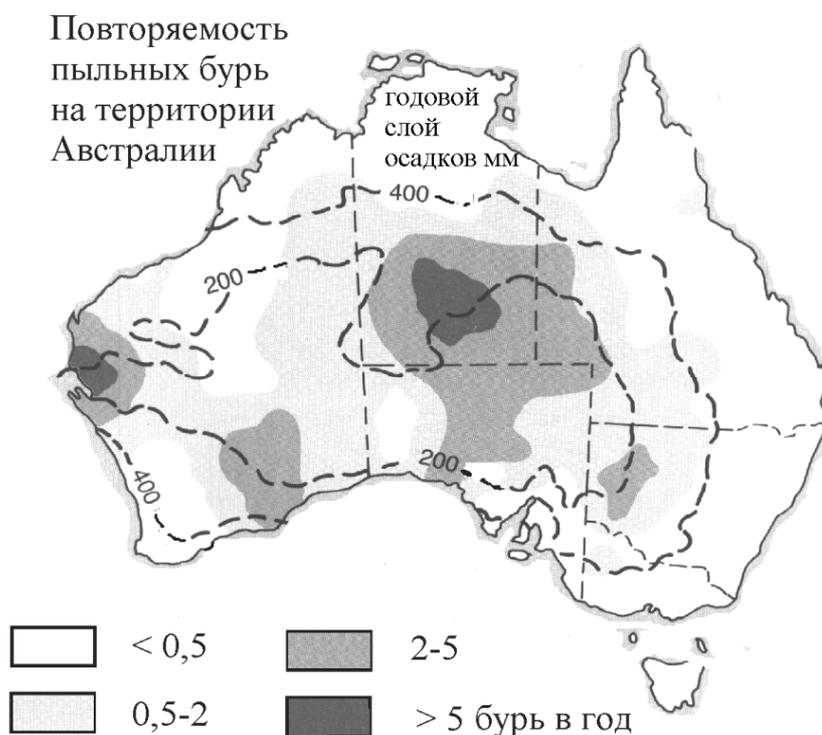
Эрозия при лесоразработках.

Наиболее существенные темпы эрозии при лесоразработках зафиксированы на лесных дорогах без покрытия. Здесь происходит смыв до 95% всех наносов. В бассейне ручья Корандерк с 1971 г проводятся наблюдения за стоком воды и наносов на двух водосборах (O' Shaughnessy, Yayasuniya, 1991). На водосборе Пиканинни Крик лес был полностью сведен в 1971 г, стволы убраны, древесный мусор сожжен и территория засеяна семенами эвкалипта. В результате в 1972-74 гг сток воды и наносов был на 110 % больше, чем до лесоразработок. Однако уже в 1980 г сток воды и наносов уменьшился до величин в ненарушенном состоянии (265 мм и 43 кг/га в год соответственно). На водосборе Блу Джакет Крик в 1972-73 гг проводилась выборочная рубка леса, при этом проложено множество лесных дорог. Здесь сток воды увеличился лишь на 25% в первые годы после рубок и к 1980 г произошло его уменьшение до фонового уровня (430 мм). Сток наносов увеличился на 220%, а период его уменьшения до фонового уровня (22 кг/га в год) продлился до 1985 г.

Эоловые процессы

Эоловые процессы в Австралии являются одним из наиболее мощным агентом перемещения вещества. Эоловая пыль с континента обнаруживается на ледниках Новой Зеландии, в океанических грунтах, на островах Фиджи и в Антарктиде. Континентальные дюны занимают более 3 млн. км² - 40% территории Австралии и являются наиболее распространенным типом рельефа. Wasson (1986) показал, что доминируют линейные дюны, ориентировка которых указывает на перенос песка в континентальном масштабе против часовой стрелки. Переобладают пески аллювиальные, озерные и береговые (от эоценовых до современных), а также глинистые отложения, из которых формируются пеллеты (глинистые агрегаты). Главный этап формирования дюн приходится на период 20-14 тыс. лет назад, когда после периода широкого распространения озер 50 тыс. лет назад и понижения их уровня после 30 тыс. лет назад наступил произошел аридизация климата. Современный этап оживления эоловых процессов и движения континентальных дюн связан с деятельностью европейских переселенцев. Они появились в аридной части Австралии в середине-конце 19 в. Выпас скота и сведение

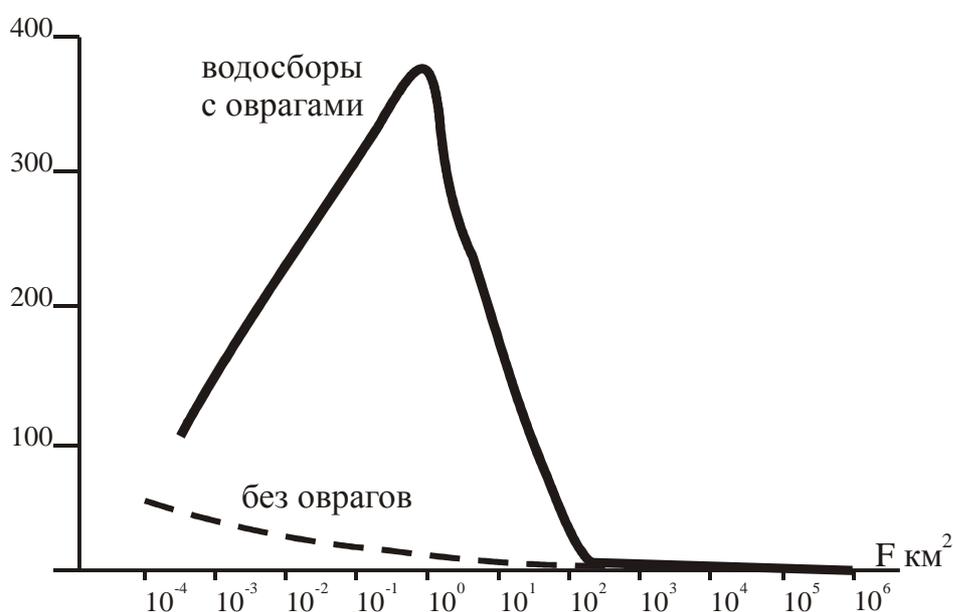
эвкалиптовой растительности привели к обнажению песков, пыльным бурям и движению песков на юго-западе Квинсленда и западе Нового Южного Уэльса. Наиболее мощные пыльные бури возникли в начале 20 в. Как указывают Нобл и Тонгвей (1986), в марте 1903 г в штате Вирджиния выпал грязевой дождь, который принес $13,7 \text{ т/км}^2$ ила с каждыми 25 мм осадков. В 1904 г у г.Вилканния (Новый Южный Уэльс) на площади 40500 га был унесен ветром слой почвы до 30 см мощностью. Интродукция кроликов привела к уничтожению растительности и появлению многочисленных нор на дюнах полей Симпсон и Стржлетский. С этим этапом совпала аридизация климата Австралии в 1915-45 гг. Последующие противодефляционные меры и увеличение гумидности климата несколько уменьшили интенсивность антропогенных эоловых процессов, но они продолжают в областях с неправильным землепользованием. Так, в феврале 1983 г пыльная буря в штате Виктория снизила видимость менее чем до 100 м на площади несколько тысяч квадратных километров, включая Мельбурн. 250000 тонн почвы было перемещено за один этот шторм (Keating, 1992). Наблюдения на метеостанциях за период 1960-84 гг показали (McTainsh et al., 1989), что пыльные бури приурочены в основном к регионам с годовой суммой осадков менее 400 мм (рис.2).



Изменение темпов эрозии в Австралии во времени и при изменении типов землепользования

На территории Австралии изменение природной среды при заселении материка европейскими поселенцами происходило быстрыми темпами. В конце 18 в Австралии леса занимали около 73 млн. га и 183 млн.га - редколесье. К 1980 г 43% лесов было вырублено, 58% - значительно изменено. На 5% ареала редколесья оно полностью сведено, и на 19% растительность значительно изменена (Resources Assessment Commission, 1991). Вырубка лесов достигла максимума в 1890-1920 гг, с развитием производства пшеницы и выращивания овец.

Вырубка лесов и увеличение площади пастбищ и пашни существенно изменили структуру стока наносов. Р.Воссон (Towards Healthy Rivers ,1992) показал на основании

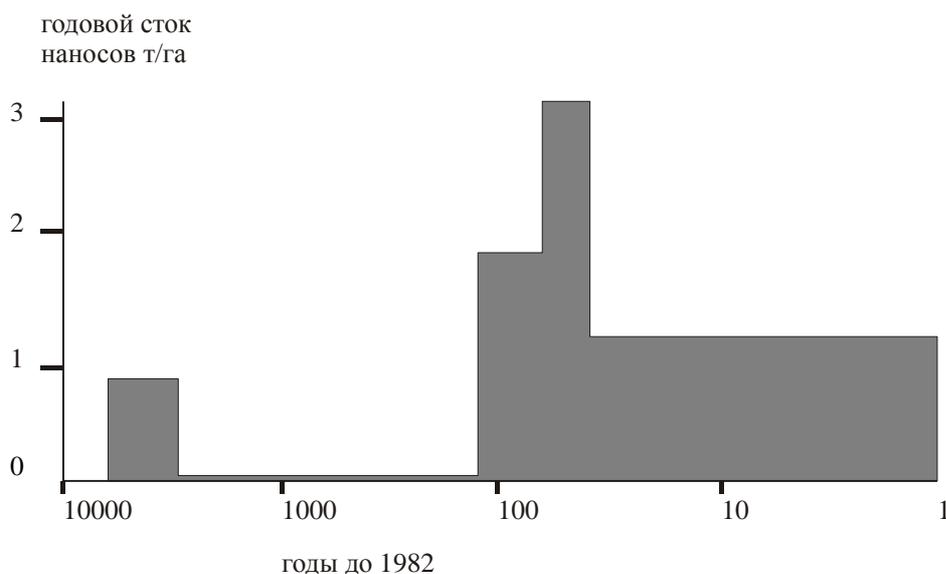


Изменение степени увеличения стока наносов над фоновым естественным уровнем в результате европейской колонизации Австралии P от площади водосбора F .

обработки данных по стоку наносов, что на залесенных малых водосборах площадью $0,1 \text{ км}^2$ модуль стока наносов в среднем составляет 70 т/км^2 в год и уменьшается с увеличением площади водосбора. Вырубка лесов приводит к увеличению стока наносов с малых водосборов. Наибольший эффект вырубка лесов оказывает на водосборы площадью $0,03 - 0,1 \text{ км}^2$, где сток наносов увеличивается в 200 раз относительно фона, на малых водосборах площадью $0,1 \text{ км}^2$ - в 30 раз (рис.3). На более крупных водосборах формируются овраги, и сток наносов на сильно заовраженных землях (с густотой овражной сети $3-24 \text{ км/км}^2$) может превысить фоновый в 700 раз. Однако с дальнейшим

увеличением площади водосбора степень увеличения модуля стока наносов относительно фона уменьшается, и для водосборов с площадью 100 км² она в среднем составляет 10, и не превышает 100.

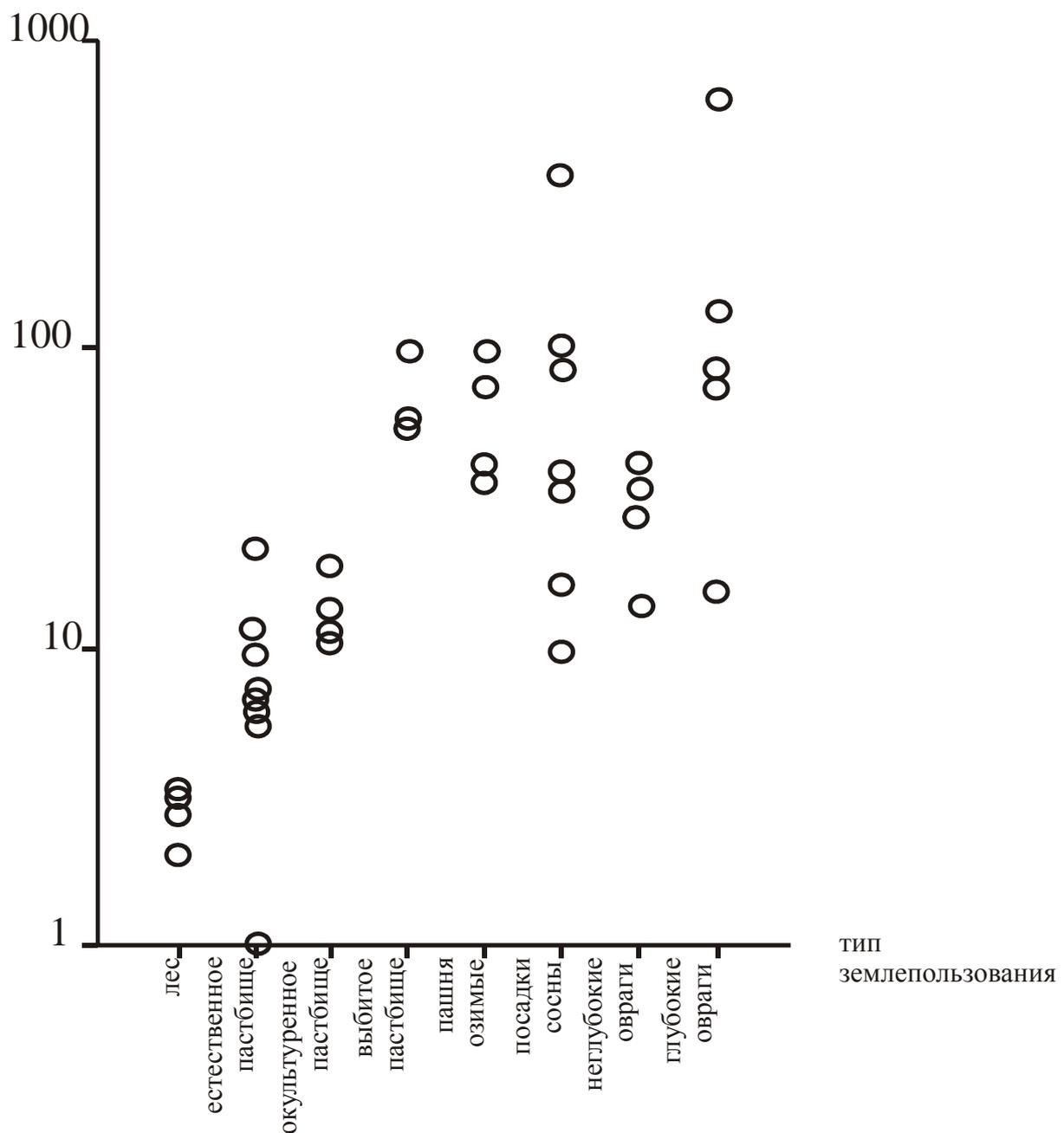
Воссон и Гэлловей (1986) восстановили сток наносов с бассейна ручья Умберумберка Крик (засушливая западная часть штата Новый Южный Уэльс) по геолого-геоморфологическим данным за период от 6000 лет назад до европейского поселения и по скоростям заиления водохранилища для последнего времени. В период 6000-3000 лет назад сток наносов был относительно высоким (0,8-1,0 м³/га в год), но меньше, чем настоящее время. В середине голоцена сток наносов значительно уменьшился и на протяжении 3000 лет не превышал 0,04 м³/га в год. Он начал увеличиваться с приходом европейцев и достиг максимума 3,1 м³/га за год в 1915-41 гг, когда на этой территории достигало максимума поголовье овец. После 1945 г началось уменьшение и стабилизация стока наносов на уровне 1,3 м³/га в год, связанное как с увеличением плотности растительного покрова, так и с уменьшением числа кроликов (рис.4). Аналогичные



расчеты для водосбора ручья Йеррабомберра Крик (Wasson, 1992) также показывают резкое увеличение стока наносов после 1850 г с максимумом в 1900 г, после чего сток стабилизировался на более низком уровне после 1940 г.

Нейл и Фогарти (1991) исследовали темпы заиления 46 прудков на водосборах рек Молонгло и Ясс (Южное плато в штате Новый Южный Уэльс). Установлено, что смыв с ненарушенных земель под заповедным лесом составляет в среднем 0,28 м³/га в год (рис.5). Смыв с естественных пастбищ в 3,8 раза больше, с улучшенных пастбищ - в 5,4 раза, с пашни - в 21 раз, с выбитых пастбищ - в 27 раз, с посадок сосны - в 33 раза, с

годовой модуль
стока наносов $\text{м}^3/\text{км}^2$



заовраженных земель - в 64 раза больше (причем 80% наносов поступает из самих оврагов). Максимальные измеренные значения смыва в среднем за 20-40 лет (время существования прудков) не превысили 10 т/га, что соответствует общепринятой точке зрения о низких темпах водной эрозии в Австралии в последние десятилетия. Однако эти темпы значительно больше, чем они были во второй половине голоцена до европейской колонизации Австралии.

В настоящее время реализуется обширная программа определения современных темпов эрозии в Австралии в зависимости от географического положения и типов землепользования (Loughran, Elliott, 1996). Величина эродированности почв связывается с

содержанием индикатора - радиоизотопа цезия-137. Проведены определения содержания цезия-137 на 12 участках в Южной Австралии, на 20 участках в Виктории, 4 участках в Новом Южном Уэльсе и 13 участках в Квинсленде. Максимальные средние темпы смыва за последние 30-35 лет составили до 45 т/га в год на посадках картофеля, 13-15 т/га в год на обрабатываемой пашне, от 0 до 4 т/га в год на пастбищах.

Классификация земель и картографирование эрозии

Согласно Г.М.Каннингам с соавторами(1988) в Новом Южном Уэльсе принята следующая классификация земель по возможным типам землепользования на основе противоэрозионной устойчивости. Выделено 4 группы земель и 8 классов. В группе А земли, которые можно регулярно использовать в качестве пашни. В этой группе 3 класса: 1) земли не нуждаются в противоэрозионных работах или специальном типе землепользования; 2) необходимо почвозащитное землепользование, как-то полосное размещение культур, почвозащитная вспашка, противоэрозионные севообороты; 3) необходимо строительство противоэрозионных сооружений, как-то водораспределяющих и контурных валов и водоотводов в сочетании с почвозащитным землепользованием. В группу В входят земли, которые нельзя регулярно распашивать, но возможно использовать под пастбища с периодической распашкой. Здесь 2 класса: 1) необходимо почвозащитное землепользование, как-то окультуривание пастбищ, контроль количества голов скота, применение удобрений и минимальная вспашка для создания или воссоздания пастбища; 2) необходимо строительство противоэрозионных сооружений, таких как водопоглощающие валы, водораспределяющие валы и контурное бороздование в сочетании с почвозащитным землепользованием. К группе С относятся земли которые нельзя распашивать, но можно использовать под пастбища. Здесь 1 класс: необходимо почвозащитное землепользование, включающее ограничение количества скота, подсев трав и внесение удобрений, защита от пожаров и уничтожение вредителей. В группе D прочие земли 2 классов: 1) залесенные территории; 2) обрывы, озера, болота и другие несельскохозяйственные местности.

В управления землепользования Нового Южного Уэльса разработан проект бассейновых земельных ресурсов ГОРАН. В рамках этого проекта создается карта и геоинформационная система типов эрозии и характера землепользования для всей территории штата в масштабе 1: 100000 и для отдельных участков в масштабе 1:25000. В классификаторе ГИС включены следующие атрибуты: классы земель по уклонам; типы естественного ландшафта; типы землепользования; типы лесов; типы эрозии; типы

противоэрозионных сооружений; скальные участки; типы грунтов и почв. Пример классификатора для типов эрозии приведен в таблице 10.

Таблица 10. Классификатор для ГИС по эрозии в рамках проекта бассейновых земельных ресурсов ГОРАН Управления землепользования Нового Южного Уэльса.

Код	Класс	Подкласс	выраженность
11	эрозия отсутствует		
12	нет эрозии благодаря землепользованию		
21	плоскостная эрозия	незначительная	1-5 т/га в год
22		умеренная	5-10 т/га в год
23		сильная	10-25 т/га в год
24		очень сильная	>25 т/га в год
31	дефляция	незначительная	1-10% оголено
32		умеренная	10-20% оголено
33		сильная	20-40% оголено
34		очень сильная	>40% оголено
41	борозковая эрозия	незначительная	1-5 т/га в год
42		умеренная	5-10 т/га в год
43		сильная	10-25 т/га в год
44		очень сильная	>25 т/га в год
51	овражная эрозия	незначительная	глубина <1.5 м
52		(изолированные	глубина 1.5-3.0 м
53		прерывистые	глубина 3.0-6.0 м
54		овраги)	глубина >6.0 м
61		умеренная	глубина <1.5 м
62		(непрерывные	глубина 1.5-3.0 м
63		неразветвленные	глубина 3.0-6.0 м
64		овраги)	глубина >6.0 м
71	сильная	глубина <1.5 м	глубина <1.5 м
72		(разветвленные	глубина 1.5-3.0 м
73		овраги)	глубина 3.0-6.0 м
74		глубина >6.0 м	глубина >6.0 м
81	очень сильная	глубина <1.5 м	глубина <1.5 м

82		(разветвленные	глубина 1.5-3.0 м
83		и субпараллельные	глубина 3.0-6.0 м
84		овраги)	глубина >6.0 м
91	склоновые процессы	оползни	
92		оплывины	
93		грязевые сели	
94		грязе-каменные сели	
101	размыв берегов рек		глубина <1.5 м
102			глубина 1.5-3.0 м
103			глубина 3.0-6.0 м
104			глубина >6.0 м

Методы борьбы с эрозией

Методы борьбы с эрозией в Австралии мало отличаются от методов, принятых в других странах (Rowan, 1986). К профилактическим относится в первую очередь размещение землепользования сообразно с типом ландшафта и использование под сельское хозяйство преимущественно пологих склонов при условии соблюдения противоэрозионных норм. Для пашни рекомендуется выбор противоэрозионных севооборотов с уменьшением периода оголения почвы, полосное возделывание культур с разными противоэрозионными свойствами, неуничтожение стерни, безотвальная вспашка с применением гербицидов, контурная вспашка. Для пастбищ наиболее успешной мерой защиты от эрозии является выбор трав (обычно бобовых) создающих наилучший поверхностный покров и улучшающих структуру почв, а также контроль за количеством скота на пастбищах во избежание перевыпаса. На особо сложных участках сооружаются контурные валы с задернованными верхними откосами и с водосбросными коллекторами. Проводятся эксперименты по применению противоэрозионных полимерных покрытий (Armstrong, Watt, 1987). При наличии мелких оврагов производится их засыпка, для глубоких оврагов - выполаживание бортов, сооружение прудка выше вершины или на месте вершины оврага. Сооружаются бетонные лотки - водосбросы в зонах наиболее активных линейных размывов вершины и бортов (Graham, 1984). В днищах сооружаются поперечные дамбы различных конструкций (Crouch, 1982), проводятся посадки ивы (Crouch et al., 1987) или специально подобранных местных видов закрепляющей растительности (Holmes et al., 1992). На водосборах активных оврагов высаживаются

деревья для уменьшения поверхностного стока. В областях развития дефляции применяется гребневая вспашка и посадка лесных полос.

Противоэрозионные мероприятия применяются или владельцами земель, или Службой охраны почв, или реализуются совместные проекты. Одним из таких является проект борьбы с эрозией на водосборе водохранилища Эппалок в бассейне р. Кампасп, штат Виктория (Eppalock Catchment Project, 1985). Эта территория начиная с 1838 г подверглась усиленной антропогенной нагрузке - вырубке лесов и организации пастбищ со значительным перевыпасом, значительным по масштабам горным работам на золотоносных месторождениях, нашествию кроликов. В результате почва со склонов была смыта до коренных пород, сформировалось огромное количество оврагов, а русла рек интенсивно заиливались. В 1960 г было сооружено водохранилище и одновременно началась реализация проекта противоэрозионных мероприятий. Противоэрозионные меры в первую очередь применялись на наиболее эродированных землях, и постепенно охватили весь водосбор площадью 2000 км². Они включали дамбы и лотки-быстротоки, валы водозадерживающего и водораспределяющего типа, огораживание и залесение наиболее крупных оврагов, планировку более мелких, безборотную вспашку и организацию окультуренных пастбищ. Расходы на борьбу с эрозией несло правительство, если эти мероприятия не приносили прямой выгоды землепользователю, или владелец земли, если эти мероприятия давали непосредственную прибыль. Через 25 лет после начала реализации проекта уже была очевидна его успешность.

Примеры подобных проектов многочисленны. В штате Южная Австралия с 1976 по 1985 гг осуществлено 13 проектов со смешанным финансированием комплексной борьбы с эрозией на площади 820 км². Причем противоэрозионное обустройство земель рассматривается только как первый этап организации рационального землепользования (Rudd, 1991). В штате Новый Южный Уэльс в 1990-91 гг финансировался 21 проект, при этом около трети расходов несли владельцы земель (Annual Report 1990-1991.).

В австралийском обществе увеличивается понимание проблем, связанных с эрозией: 1) потерь невозстановимого плодородного слоя почвы; 2) уменьшения почвенного плодородия; 3) загрязнения водотоков и заиления водоемов; 4) повреждения автодорог, железных дорог, телефонных кабелей и других сооружений; 5) увеличение стоимости продукции и уменьшение продуктивности земель; 6) увеличение затрат государственных служб и землевладельцев; 7) увеличение стоимости продуктов питания и более высокие налоги; 8) разрушение наиболее важного природного ресурса для следующих

поколений австралийцев. Одновременно в обществе увеличивается степень понимания необходимости совместных работ по защите почв от эрозии, увеличение оптимальности землепользования с точки зрения его почвозащитности.

Литература.

1. Annual Report 1990-1991. Soil Conservation Service of NSW., 1991, 80 p.
2. Armstrong J.L., Watt L.A. The Use of Polymer Emulsions for Erosion Control in Critical Areas. J. of Soil Conservation New South Wales, v.43, N 1, 1987, pp.10-17.
3. Atkinson G. Erosion Damage Following Bushfires. J. of Soil Conservation New South Wales, v.40, N 1, 1984, p.4-9.
4. Aveyard J.M. Soil Erosion: Productivity Research in New South Wales to 1982. Wagga Wagga Research Center Tech. Bull N.24, 1983.
5. Bell L.C. Mining. in: J. Russel and R. Isbell ed. Australian Soils: The Human Impact. 1986 Univ. of Queensland Press, pp.444-466
6. Bird J.F. Channel Incision at Eaglehawk Creek, Gippsland, Victoria, Australia. Proc. R. Soc. Vict. v.94, N 1, 1982, pp.11-22.
7. Clarke A.L. Cultivation in: J. Russel and R. Isbell ed. Australian Soils: The Human Impact. 1986 Univ. of Queensland Press, pp.273-299.
8. Constantini A. Coastal Lowlands- Paired Catchment Study. Status Report, Queensland Forest Service Hydrology Research, 1992, 12 p.
9. Coventry R.J. The Geology of Shingle House Creek Valley, New South Wales. BSc thesis, ANU, 1967, 166 p.
10. Crouch R.J. The Role of Tunnel Erosion in Gully Head Progression. J. of Soil Conserv. NSW, v.39, N 2, 1983, pp. 148-155.
11. Crouch R.J. Erosion Processes and rates for Gullies in Granitic Soils Barthust, New South Wales, Australia. Earth Surface Processes and Landforms. v.15, N 3, 1990, pp.169-173.
12. Crouch R.J. Estimation of Gully Sidewall Erosion Rates. PhD thesis. Macquarie Univ., 1992, 236 p.
13. Crouch R., A. Dawson, R. Henry, W. O'Brien. Low cost weirs for gully stabilization. Engineering Bundaberg, N 8 1982, pp.248-250
14. Crouch R.J., Dwyer P.J., Honeyman M.N. Willows for Gully Erosion Control in the Central Tablelands of NSW. J. of Soil Conservation New South Wales, v.43, N 1, 1987, pp.28-31.
15. Crouch R., Blong R. Gully sidewall classification: methods and applications. Z. Geomorph. N.F. v.33, N 3, 1989, 291-305.

16. Cunningham G.M., Higginson F.R., Riddler A.M., Emery K.A. Systems used to classify rural lands in New South Wales. Soil Conserv. Serv. of NSW, 1988, 7 p.
17. Edwards K. Soil Loss Studies in South East Australia. in: PlaSentis ed. Soil Conservation and Productivity. Maracay, Venezuela, 1985, pp.327-338
18. Edwards K. How much soil loss is acceptable. Search, v.19, N 3 1988, pp.136-140.
19. Edwards K. Soil Formation and Erosion Rates. In "Soils-their properties and management". Sydney Univ.Press., 1991, pp.36-47
20. Eppalock Catchment Project. A Soil Conservation Success Story. Dept. of Conserv., Forests and Lands, 1985, 27 p.
21. Eyles R. Erosion And Land Use in the Burra Catchment, Queanbeyan. J. Soil Conserv. NSW, v. 33 N 1, 1977, pp.47-59
22. Eyles R. Birchams Creek: a transition from chain of ponds to a gully. Australian Geogr. Studies. Publ. 137, 1977, pp.146-157.
23. Freebairn D.M. Soil erosion in perspective. Div.Land.Util.Tech. News, v 6, N 1, 1982, pp.12-15
24. Freebairn D., D.Silburn, R.Loch. Evaluation of Three Soil Erosion Models for Clay Soils. Australian J. Soil Research. v.29 , 1989, pp.199-211.
25. Freebairn D., M.Littleboy, G.Smith, K.Coughlan. Optimizing Soil Surface Management in Response to Climatic Risk. In "Climatic Risk in Crop Production: Models and Management for Semiarid Tropics and Subtropics", 1991, pp.283-306.
25. Graham O.P. Gully Erosion. J.of Soil Conservation New South Wales, v.40, N 1, 1984, pp.31-37.
26. Graham O.P., Emery K.A., Abraham N.A., Johnston D., Pattermore V.J., Cunningham G.M. Land Degradation Survey. New South Wales 1987-88. Soil Conservation Service of NSW, 1988, 32 p.
27. Hamilton G.J. The effect of sheet erosion on wheat yield and quality. J.of Soil Conservation New South Wales, v.26, N 3, 1970, p.118-123
28. Hannam I.D. Gully Morphology in a Barthust Catchment. J. of Soil Conserv. NSW, v.39, N 2, 1983, pp.156-167.
29. Haydon S., M.Jayasuriya, P.O'Shaughnessy. The effect of vehicle use and road maintenance on erosion from unsealed roads in forests: the road 11 experiment. Report N MMBW-W-0018, 1991, 3 p.
30. Holmes M., Rizvi S., Crouch R. Gully Revegetation. Dept. of Conserv. and Land Management, 1992, 3 p.

31. Keating J. The drought walked through. A history of water shortage in Victoria. Dept. Water Res., Victoria, 1992, 287 p.
32. Lang R.D., L.A.H.McCaffrey. Ground cover- its effects on soil loss from grazed runoff plots, Gunnedah. J.of Soil Conservation New South Wales, v.40,N 1, 1984, p.56-61.
33. Littleboy M., D.Silburn, D.Freebairn, D.Woodruff, G.Hammer, J.Leslie. Impact of Soil Erosion on Production in Cropping Systems. I. Development and Validation of a Simulation Model. Australian J. of Soil Research. v.30, 1992, pp.757-774,
34. Loughran R.J., Elliott G.L. Rates of soil erosion in Australia determined by the caesium-137 technique: a national reconnaissance survey. in: IAHS Publ, N 236, "Erosion and sediment Yield: Global and Regional Perspectives, 1996, p.275-282.
35. McTainsh G.H., Burgess R., Pitblado J.R. Aridity, Drought and Dust Storms in Australia (1960-84). J.of Arid Environments. v 16, 1989, pp.11-22
36. Moore I.D., Burch G.J., Mackenzie D.H. Topographic Effects on the Distribution of Surface Soil Water and the Location of Ephemeral Gullies. Trans. of ASAE, v.31, N 4, 1988, 1098-1107.
37. G.Nanson, W.Erskine. Episodic Changes of Channels and Floodplains on Coastal Rivers in New South Wales. in: R.Warner ed. Fluvial Geomorphology of Australia, Sydney, 1988, pp.201-221.
- 38..Neil D, P.Fogarty. Land use and sediment yield on the southern tablelands of New South Wales. Australian Journal of Soil and Water Conservation. v.4, N 2, 1991, pp.33-39.
39. Noble J.C., D.J.Tongway. Pastoral Settlement in Arid and Semi-Arid Rangelands. in: J.Russel and R. Isbell ed. Australian Soils: The Human Impact. 1986 Univ.of Queensland Press,pp.217-242.
40. O' Shaughnessy P.J., Yayasuniya M.D.A. Water Supply Catchment Hydrology Research. Status Report, Melburn Water, 1991, 15 p.
41. Prosser J.P., Chappell J.M.A., Gillespie R. Controls on Episodic Aggradation and Degradation of Headwater Catchments during the Holocene, Southeastern Highlands of Australia. рукопись, 1992, 31 p.
42. Resources Assessment Commission. Forest and Timber Inquiry. Draft Report. 1991., 213 p.
43. Rose C.W. Development in soil erosion and deposition models. Advances in Soil Science. v.2, 1985, 1-63

44. Rosewell C.J. SOILOSS - A program to assist in the selection of management practices to reduce erosion. Technical Handbook N 11 (2nd Edition). Soil Conservation Service, Sydney, 1993, 24 p.
45. Rosewell C.J. Sheet and rill erosion and Phosphorus Sources. State of the Environment Report, Inland Waters Reference Group, 1996, 19 p.
46. Rowan J.N. Conservation Practices. in: J.Russel and R. Isbell ed. Australian Soils: The Human Impact. 1986 Univ.of Queensland Press, pp.397-414
47. C.Rudd. A decade of integrated catchment management in South Australia. Australian J. of Soil and Water Conservation v.4, N 2, 1991, pp.6-11.
48. Ryan P. Rum Jungle Mine Rehabilitation- Northern Territory. J.of Soil Conservation New South Wales, v.43,N 1, 1987, pp.18-27.
49. Silburn D., C.Carroll, C.Ciesiolka, P.Hairsine. Management Effects on Runoff and Soil Loss from Native Pasture in Central Queensland. "Abstracts of 7-th Biennial Rangeland Conference", Cobar, 1992, pp.294-295
50. Stephens C.G., Herriot R.I., Downes R.G., Langford-Smith T., Acock A.M. A soil, land use and erosion survey of a part of County Victoria, South Australia. Coun. Sci. Ind.Res.,Aust.,Bull. N 188, 1945.
51. Towards Healthy Rivers. Consultancy Report N 92/44, CSIRO, 1992, 103 p.
52. Tunbridge S., A.Williams, W.Hart, K.McCarthy, L.Morey. Gully Erosion Control Investigations. 1988, рукопись, pp. 1- 6.
53. Wasson R.J. Geomorphology and Quaternary History of the Australian Continental Dune-fields. Geographical Review of Japan. v.59 (ser.B) N 1, 55-67, 1986.
54. Wasson R.J. What is it that we wish to know about the gully networks of the Ord River catchment - a discussion paper. 1990, рукопись, pp. 1-15.
55. Wasson R.J. Lake Argyle Catchment Management and Research., 1992 (рукопись).
56. Wasson R. Landscape denudation in Australia in the Late Holocene. 1992, рукопись, 12 p.
57. Wasson R., R.Clark. Environmental History for Explanation and Prediction. Search. v.16, N 9-12, 1985, pp.258-263.
58. Wasson R., R.Galloway. Sediment yield in Barrier Range before and after European settlement. Aust Rangelands Journal. v 8, N 2, 1986, pp.79-90.
59. Wasson R.J., Olive L.J., Rosewell C.J. Rates of erosion and sediment transport in Australia. in: IAHS Publ, N 236, "Erosion and sediment Yield: Global and Regional Perspectives, 1996, p.139-148.

60. Williams J.R. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In " Present and Perspective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources" ,USDA, ARS-S-40, 1975, pp.244-252
61. Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall-erosion losses - a guide to conservation planning. USDA, Agric.Handbook N. 537, 1978.
62. Сидорчук А.Ю. Модель для расчета морфометрии стабильного оврага. Геоморфология, в печати.
63. Сидорчук А.Ю. Эрозионно-аккумулятивные процессы на Русской равнине и проблемы заиления малых рек. В сб.: Тр. Академии водохозяйственных наук. Вып.1 "Водохозяйственные проблемы русловедения". М., 1994, с.74-83.