

© 2013 г. С.А. СЫЧЕВА, С.Н. СЕДОВ, Э. СОЛЛЕЙРО-РЕБОЛЛЕДО

ЭВОЛЮЦИЯ ЛАНДШАФТОВ И РЕЛЬЕФА ЦЕНТРАЛЬНОГО МЕКСИКАНСКОГО НАГОРЬЯ В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ И ГОЛОЦЕНЕ¹

Введение

Активная тектоническая и вулканическая деятельность, высокая гравитационная энергия рельефа Центрального Мексиканского плато (высота над уровнем океана – 2500–2700 м, превышение над местными базисами эрозии достигает 400 м), особые свойства пирокластических пород, длительное сельскохозяйственное использование территории и другие факторы благоприятствуют ускоренным эрозионным процессам. Они настолько интенсивны, что создают местами бедленды, обнажая древние, твердые слои пород – тепетате, а также формируя густую сеть глубоких линейных эрозионных форм (оврагов на склонах малых и крупных вулканов) – барранкосов (мексиканский вариант – барранка) [1]. В их стенках можно наблюдать древние эрозионные формы (палеоврезы), заполненные продуктами разрушения палеопочв и тепетат.

Преобладающая роль в рельефе Тласкальского тектонического блока (Центральное Мексиканское нагорье) кроме высоких вулканов (свыше 4000–5000 м) принадлежит небольшим вулканам (рис. 1). Котловины между ними заняты пересыхающими речными долинами, редкими озерами, прудами и водохранилищами. К ним со всех сторон спускаются склоны, доля которых составляет не меньше 80–90% от площади территории. Склоны вулканов нарушены многочисленными барранками – оврагами разного размера и сложности. Изучаемое пространство (штат Тласкала) – яркий



Рис. 1. Антропогенная саванна Центрального Мексиканского нагорья
На заднем плане снежная вершина вулкана Истаксиуатль, справа – малый вулкан

¹ Работа выполнена при спонсировании Программы поддержки исследовательских и инновационных проектов Национального Университета Мексики (РАИПТ), проект № IN117709.



*Рис. 2. Бедленды Мексики в штате Тласкала
Педо-тепетатная толща в верховье барранки Тлалпан*

пример негативных последствий интенсивного сельского хозяйства и бездумного сведения лесов, начиная с предклассического периода (с 4500 BP) [2–4]. Огромные пространства бесплодной земли, лишенные плодородных почвенных горизонтов, сложены с поверхности тепетатами – плотными, порой сцементированными породами, не поддающимися обработке, и (или) нарушены барранками (рис. 2) [5]. В настоящее время система эрозионных линейных форм широко развита в природно-антропогенных ландшафтах с сильными ливнями, идущими в летнее время [6]. В местах, где эрозионные процессы менее интенсивны, тонкие почвенные горизонты все же еще сохранились над тепетатами [1, 5, 7]. Но чаще на поверхность выходят доголоценовые эксгумированные почвы. Изучение происхождения и истории развития барранок в силу их широкого распространения и выраженного негативного влияния имеет не только научное, но и практическое значение. Целью исследования явилось изучение морфологии, генезиса и этапов развития барранок, палеоврезов и ландшафтов в позднеледниковье и в голоцене.

Объекты исследования

Наши исследования проходили в бассейне крупной эрозионной системы – барранке Консепсион, и большей частью в ее отвершках – барранках: Тлалпан, Старая, Молодая, Бибуса, Минор, Длинная (названия, кроме барранок “Консепсион” и “Тлалпан”, даны авторами и коллегами). Барранка Консепсион – крупная, разветвленная овражная система, начинающаяся на вершине разрушенного малого вулкана (вершина блока Тласкала) на юго-запад от деревни Тлалпан (рис. 3). Уклон склона здесь превышает 4°. Крупный отвершек – барранка Тлалпан ориентирована на ССВ. Она распадается на два оврага: Старую и Молодую барранки. Для прослеживания поведения слоев по латерали и детального исследования эволюции этапов развития была выбрана Молодая барранка, т. к. ее стенки наиболее обнажены. Вторым объектом стала барранка Бибуса с барранкой Минор, также являющаяся правобережным отвершком барранки Тлалпан в ее низовьях.

В барранке Тлалпан находится основной стратиграфический педо-тепетатный профиль (опорный разрез) “Тлалпан”, который был изучен Петчем [8], Седовым, Соллейро и др. [7, 9]. Он включает семь уровней палеопочв, чередующихся со слоями

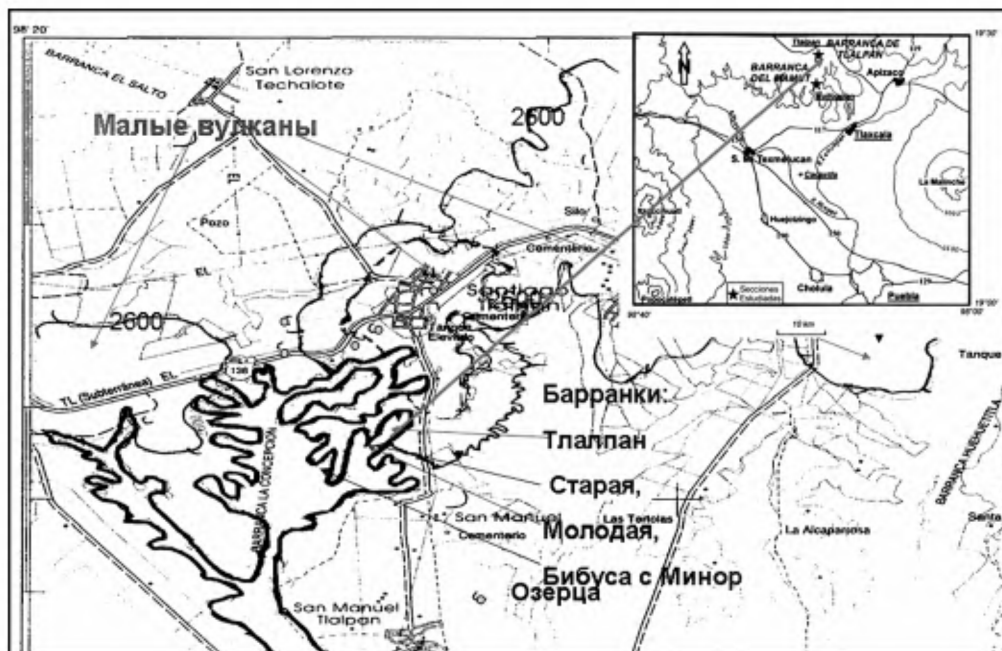


Рис. 3. Карта района исследования: овражная система – барранки Косепсион и Тлалпан с отвершками – барранками: Старая и Молодая, Бибуса с Минор
Вставка – фрагмент мелкомасштабной карты

Строение четвертичных отложений в опорном разрезе
Тлалпан (Sedov et al., 2001–2009).

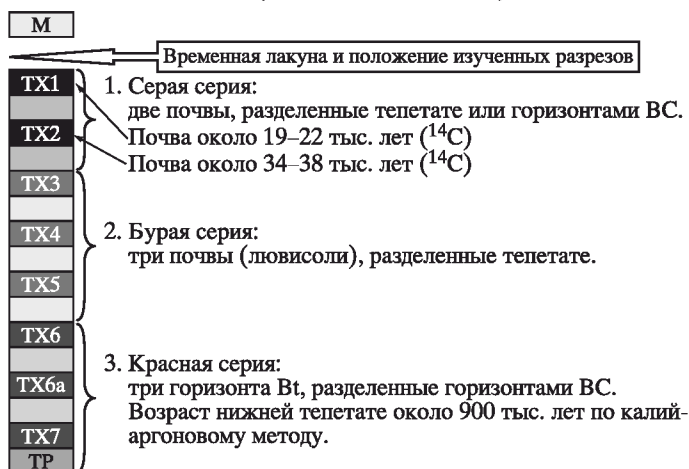


Рис. 4. Стратиграфическая колонка педо-тепетатной толщи района исследования

тепетат или нецементированными слоями, и современную почву, развитую на коллювии М (рис. 4). Палеопочвы имеют генезис от слабо развитых вулканических почв – андосолов (ТХ 1) до зрелых текстурно дифференцированных почв – лювисолов (ТХ 3 – ТХ 7), в той или иной мере эродированных в верхней части профиля и представленных, в основном, иллювиальными горизонтами [7]. Палеопочвы различимы визуально (по цвету и структуре) и используются как стратиграфические реперы (геосоли).

Палеопочвы и разделяющие их породы объединены в три серии (юнита) по узнаваемым визуально цветовым оттенкам (сверху вниз): серая (Grey unit), бурая (Brown unit) и красная (Red unit). В настоящее время получена дата по K/Ar для нижней тепетате красной серии – около 900 тыс. лет [9]. К красной серии принадлежат три почвы TX 6₁, TX 6₂ и TX 7. Три почвы (TX 3, TX 4 и TX 5) относятся к бурой серии. Три палеопочвы, относящиеся к серой серии, датированы радиоуглеродным методом [7, 10]. Почвы (TX 1 и TX 2) серой серии формировались в течении МИС (морской изотопной стадии) 3 и в начале МИС 2. Наиболее молодая почва (TX 1) в этом разрезе и разрезе Мамут имеет возраст около 19000 ВР. Отложения, относящиеся к позднеледниковью и голоцену (за исключением маломощного коллювия) в наиболее высоких частях склона отсутствуют. Почвы и отложения этого времени (позднеледниковья и голоцена), не изученные ранее, как и палеоврезы, стали объектами нашего исследования.

Методика исследования

Основными методами нашего исследования явились: рекогносцировочные маршруты; геолого-геоморфологическое профилирование современных и древних линейных эрозионных форм рельефа, прослеживание почвенных катен и литологических фаций (коллювия и тепетат) по склонам; изучение опорных разрезов с отбором образцов на ¹⁴C-датирование; корреляция строения изученных разрезов на основе стратиграфических реперов.

Рекогносцировочные маршруты позволили установить основные рельефообразующие и почвообразующие процессы, оценить площади эродированных поверхностей, обнаружить следы озера, древних поселений, локальных катастроф (пожаров, прорывов естественных плотин и др.). Изучение опорных разрезов – основа для палеогеографических и эволюционно-ландшафтных исследований, базируется на выделении стратиграфических горизонтов. Отличием нашей работы от предшествующих исследований явилось то, что за главные стратиграфические реперы были приняты не только слои палеопочв, но и слои тепетат. Как оказалось, именно тепетате легче распознаются при полевых исследованиях и сохраняют свои черты по латерали от разреза к разрезу, от барранки к барранке, что позволило коррелировать разрезы, расположенные как в разных частях продольного профиля, так и в разных барранках.

Материалы исследования

Молодая барранка простирается примерно параллельно Старой барранке в ЮЮЗ направлении и соединяется с ней через 600 м, образуя барранку Тлалпан (рис. 5). Молодая барранка – дневная эрозионная форма, включает три основные части: 1) циклообразную головку с останцами бывлой поверхности выравнивания; 2) расширенную эродированную часть склона с сильно меандрирующим, донным оврагом; 3) каньообразный овраг, идущий по палеоврезу, заполненному коллювием. В верхней части продольного профиля в правом борту

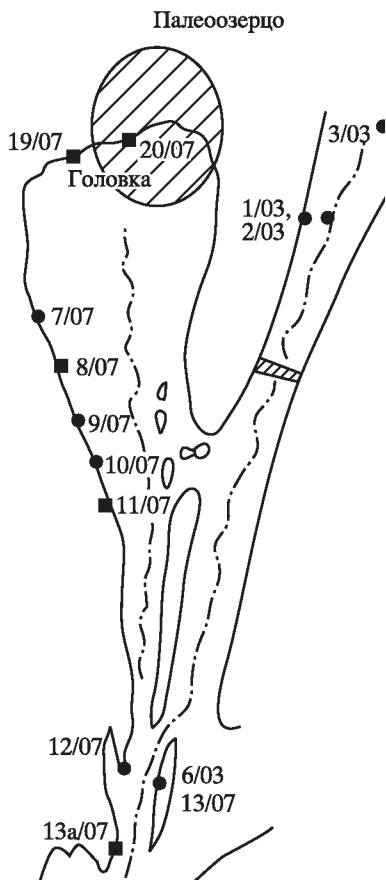


Рис. 5. Местоположение разрезов в Молодой и Старой барранках

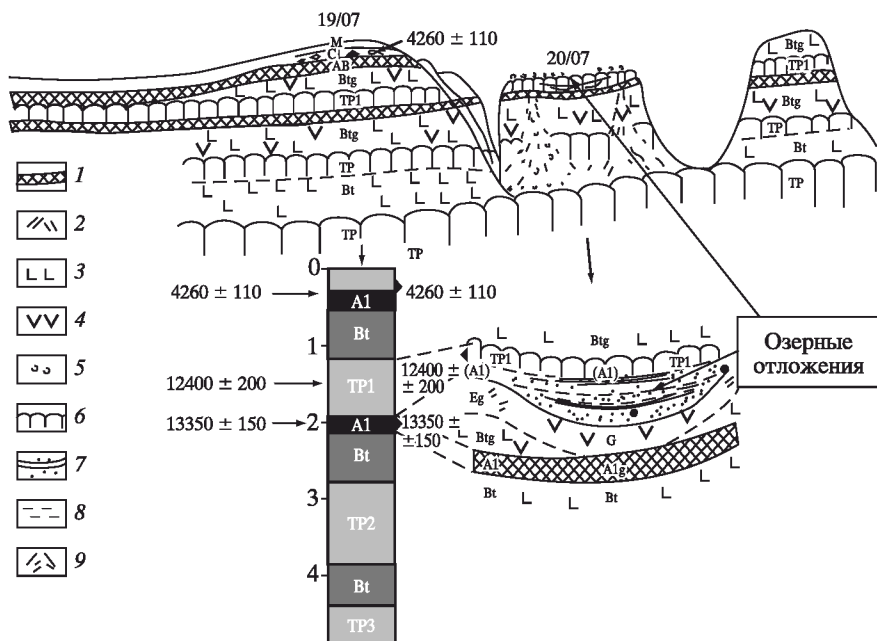


Рис. 6. Строение разрезов 19/07 и 20/07 в головке Молодой барранки

Почвенные горизонты: 1 – гумусо-аккумулятивный, 2 – элювиальный, 3 – иллювиально-глинистый, 4 – оглеения, 5 – карбонатный; отложения: 6 – тепетате, 7 – озерные, 8 – коллювий, 9 – осыпь

Молодой барранки обнажаются все три серии или толщи (юнита): серая, бурая и красная, выделенные в главном профиле барранки Тлалпан, что позволяет проводить корреляцию строения разрезов.

Циркообразная головка Молодой барранки представляет собой округлую депрессию диаметром около 70 м (рис. 5, 6). Высота стенок депрессии составляет 2.5–4.5 м. Ее днище сложено обнаженной бурой тепетате TP 2. Площадка головки (днище депрессии) слабо наклонена согласно падению тальвега барранки – на ЮЮЗ. Современная поверхность снижается более резко. Подобным образом изменяется высота обнаженных стенок головки.

В циркообразной головке барранки были изучены два разреза 20/07 и 19/07 (рис. 6). Их строение более сложное, чем строение стратопического разреза [9] – в верхней части появляются новые слои.

В разрезе 19/07, расположенном на высокой части склона, представлены почвы и тепетате серой серии общей мощностью 220 см, а также верхняя часть бурой серии – гор. Bt первой почвы.

Серая серия включает современный коллювий (0–10 см) – палевый опесчаненный суглинок; культурный слой (10–30 см) – темно-серый суглинок, содержащий углестые остатки и антропогенные артефакты: отщепы и орудия из обсидиана, фрагменты керамики. По образцу керамики получен радиоуглеродный возраст – 4260 ± 110 BP (таблица).

Оба слоя, и особенно нижний, бесструктурны и уплотнены, держат вертикальную стенку. Есть вероятность, что со временем они превратятся в тепетате. Ниже на глубине 30–100 см залегает верхняя погребенная почва – слабооглеенная лювисоль с горизонтами: AB (30–50 см), представленным светло-серым суглинком мелкооскольчатой структуры и Btg (50–100 см) – суглинок палево-бурый оскольчатой структуры. Стенки педов покрыты глинистыми кутанами. Почву подстилает зубовидная тепетате TP1₁ (100–170 см) – светло-серый опесчаненный плотный суглинок, при разрушении

Радиоуглеродный возраст почв и отложений района исследования

Геоморфологическое положение, № разреза	Глубина, м	Порода, почва – А1, тепетате	№ образца	Радиоуглеродный возраст, ВР	Датирующий материал
Молодая барранка, 19/07, головка	0.3		Ki-14585	4260±110	Керамика
	1.8	A1	Ki-14387	13350±150	ГК
То же, 20/07, головка	0.1	Над тепетате	Ki-14388	4190±100	Карбонаты
	0.2	Тепетате	Ki-14392	12400±200	ГК
То же, 8/07, палеоврез	1.8	A1	Ki-14386	6260±100	«
То же, 11/07, палеоврез	2.9	A1	Ki-14391	8100±110	«
То же, 11/07, палеоврез	2.7	Тепетате	Ki-14472	8220±100	«
Барранка Тлалпан, 13а/07, терраса	3.4	Тепетате	Ki-14386	8190±100	Кость
То же, 28/07, терраса	2.4	Коллювий	Ki-14387	13600±100	Уголь

образующий острогранную поверхность. Ниже развита лувисоль с горизонтом A1 (170–190 см) (14C-возраст 13350±150 ВР, табл.) и горизонтом Btg (190–220 см). Нижний горизонт серой серии – это тепетате TP1₂ (220–370 см) – палево-бурый плотный опесчаненный суглинок. Ниже залегает бурая серия, представленная горизонтом Bt (370–410 см) – суглинок бурый ореховатой структуры (остатки лувисоли), который подстилается тепетатой TP 2 (410–450 см) – опесчаненный, плотный суглинок малопористый.

Разрез 20/07 заложен в стенке северной части головки в 20 м вверх от разреза 19/07, на месте, где вследствие размыва удалена верхняя часть разреза и на поверхность выходит зубовидная тепетате TP1. Эта тепетате образована из переотложенного гумусового материала (A1) и ее возраст моложе 12400±200 ВР (табл.), так как данная датировка относится к гумусовому мелкозему почвы, из которого с добавлением пирокластического материала образована тепетате. На поверхность тепетате экспонированы карбонатные конкреции, вымытые из голоценовой почвы с древним культурным слоем (КС). Их радиоуглеродный возраст – 4190±100 ВР (табл.). Ниже развита оглеенная лувисоль с сохранившимся элювиально-глеевым горизонтом Eg – белесовато-палевым опесчаненным суглинком с Mn-конкрециями и горизонтом Bhg – оструктуренным бурым суглинком. В небольшой палеодепрессии эти горизонты замещаются горизонтальной слоистой толщей, образованной за счет переслаивания песчанистых и глинистых слоев, подстилаемой глеевым горизонтом. Горизонты Eg и G насыщены Mn-Fe-микроортштейнами диаметром более 4 мм. Эти горизонты уплотнены и фациально замещают тепетате TP1 разреза 19/07. Под ними залегает хорошо выраженный уровень более древней почвы – лувисоли с оструктуренными горизонтами AB и Bt. В небольшой депрессии (под глеевым горизонтом) она оглеена и представлена горизонтами ABg и Btg.

Таким образом, в наиболее высоких точках в головке барранки (разрезы 20 и 19) серая серия состоит из коллювия, культурного слоя (древнего природно-антропогенного горизонта) и двух палеопочв, возраст нижней – позднеледниковый (около 13350 ВР). Разделяющая их тепетате в разрезе 20 замещается уплотненными горизонтами: переотложенным (A1), Eg и Btg. В небольшой депрессии нижние горизонты замещаются глеем, перекрытым горизонтально слоистыми песчано-глинистыми осадками, отложенными, вероятно, в небольшом водоеме – озере.

На эродированном участке склона от разреза 19/07 до разреза 7/07 описанные слои выклиниваются. На поверхность, прикрытую маломощным коллювием, выходит первая тепетата бурой серии – TP 2. В этой части продольного профиля барранки прослежено поведение толщ, палеопочв и тепетат вниз по простиранию склона малого вулкана (разрезы 7-11/07, рис. 7). Вниз по склону мощность серой толщи быстро уменьшается. Бурая серия, наоборот, очень хорошо представлена тремя тепетатами:

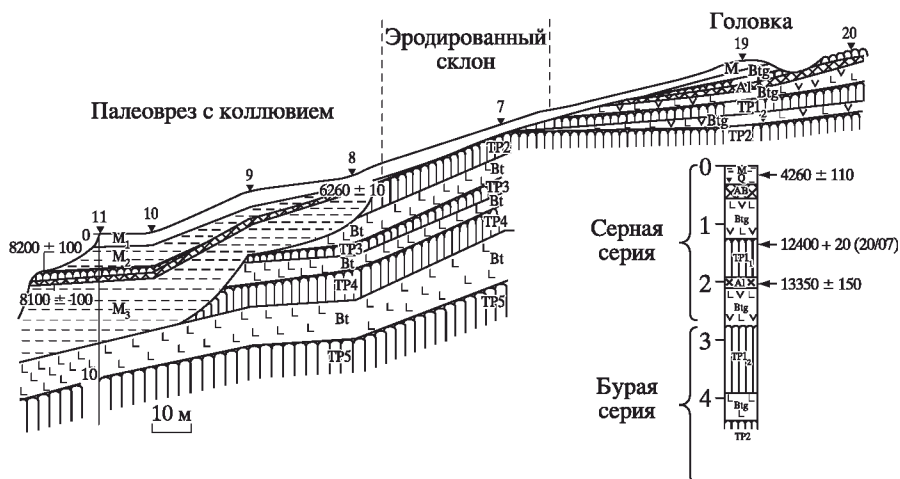


Рис. 7. Геолого-геоморфологический профиль Молодой барранки
Усл. обозначения см. рис. 6

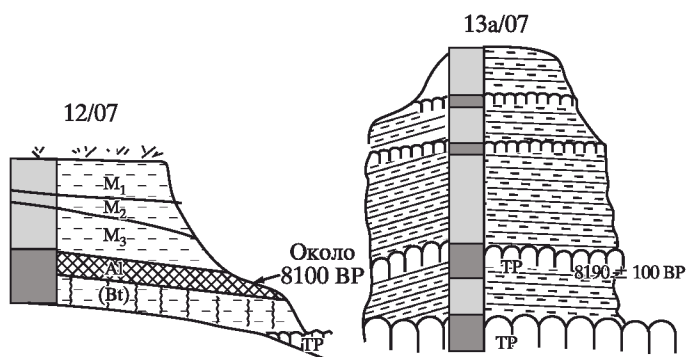


Рис. 8. Разрезы в низовьях барранки Тлалпан
Усл. обозначения см. рис. 6

ТР 2, ТР 3, ТР 4 и тремя иллювиальными горизонтами палеолювисолей, что коррелирует с основным педо-тепетатным профилем Тлалпан. Два верхних слоя тепетат бурой серии с разделяющими горизонтам Bt прослежены до разреза 9/03, где они срезаются эрозионными процессами, сформировавшими палеоовраг. Верхняя часть профиля сложена коллювием в подошве с погребенной под современным коллювием темной почвой, имеющей в разрезе 8/07 радиоуглеродный возраст 6200 ± 100 ВР. Коллювий, заполняющий палеобарранку, срезает все наклонные слои бурой серии. Он имеет сложное строение и, несомненно, лежит в несогласии с современным.

Продольный профиль палеовреза двухступенчатый (рис. 7). Первая ступень связана с затрудненным размывом ТР 3. Вторая приходится на днище палеовреза, и связана с трудным размывом верхней части красной серии (разрезы 11/07). Ниже по продольному профилю днище палеовреза врезано глубже – заложено на уровне ТР 5 (разрез 13a/07, рис. 8). Начиная немного выше разреза 9/07 и до разреза 11/07 в заполнении палеовреза, прослеживается погребенная почва, которая перекрыта зубовидной тепетате (ТР 1) и коллювием (М 2). В разрезе 11/03 определен радиоуглеродный возраст тепетате в заполнении палеовреза – 8220 ± 100 ВР и погребенной почвы – 8100 ± 110 ВР. Эта почва разделяет коллювий на две генерации: М 3 – заполняющий палеоврез и

М 2 – перекрывающий. Гумус в тепетате переотложен из разрушенной выше по склону той же почвы, и поэтому отмечается инверсия дат.

Палеоврез заполнен продуктами разрушения тепетат и палеопочв – коллювием (М 3) бурого и серовато-бурого цвета с горизонтально слоистой текстурой. Последняя обусловлена переслаиванием рыхлых буроватых суглинков с горизонтами слаборазвитых маломощных почв и уплотненных (тепетизированных) суглинков. Подобная текстура свидетельствует о неоднократной и частой смене склоновых (пролювиально-делювиальных) процессов почвообразовательными. Причем скорости склоновых процессов были высоки и значительно преобладали над темпами как почвообразования, так и тепетатообразования.

Ниже по склону от сближения со Старой барранкой до впадения в нее Молодая барранка превращается в каньонообразный овраг, прорезающий древний бурый коллювий, то есть современный врез идет по древнему заполненному палеоврагу.

В устье Молодой барранки (разрезы 12/07 и 13а/07) зубовидная ТР 1 залегает уже на маломощном коллювии, перекрывающем тепетате красной серии (палеовраг уничтожил все остальные почвы и тепетате) (рис. 8). Верхняя четырехметровая толща коллювия сложена серым слоистым гумусированным суглинком, образованным за счет переотложения гор. А1 голоценовых почв. ^{14}C -возраст нижней гумусированной теперате составляет 8190 ± 100 BP (табл.). В коллювии отсутствуют погребенные почвы.

В разрезе 28/07, расположенном ниже по склону, характеризующий строение террасы (бывшего днища) барранки Тлалпан, представлены несколько генераций коллювия. Радиоуглеродный возраст наиболее древнего коллювия, полученный по коллагену кости старше 13600 ± 600 BP (табл.).

Второй объект нашего исследования – **барранка Бибуса** расположена в сниженной части склона, простирается субпараллельно Молодой барранке и впадает в барранку Тлалпан (рис. 5, 9А). Барранка Бибуса, как и Молодая, включает три основные части: 1) циркообразную головку; 2) расширенную эродированную часть с сильно меандрирующим, донным оврагом и 3) каньонообразный овраг, идущий по палеоврезу, заполненному коллювием.

Головка барранки большей площади, чем головка Молодой барранки, в диаметре она достигает 100–130 м. В верхней части циркообразной депрессии сохранились крупные останцы современной поверхности. Площадка головки (днище депрессии) заметно наклонена в сторону падения склона – на юг, и сложена не только первой тепетате бурой серии ТР 2, но и местами более древней тепетате ТР 3. В середине цирка на обнаженной поверхности тепетат промоины быстро переходят в овраг с отвесными стенками и сильно меандрирующим руслом. Борта оврага, соединяясь с бортами головки барранки, образуют каньон глубиной свыше 10 м. С ССВ в него впадает небольшая барранка Минор. Водораздел между этими оврагами сильно эродирован.

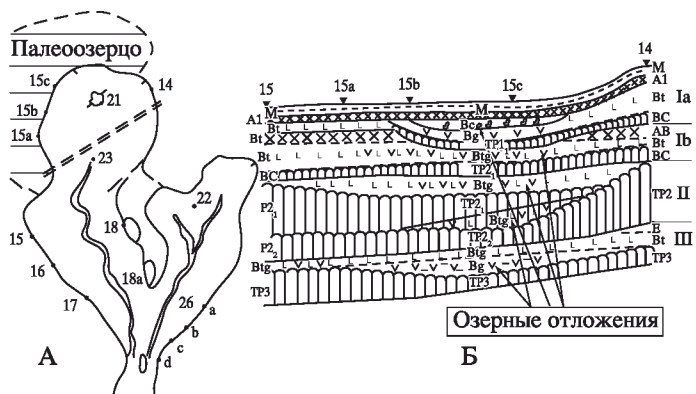


Рис. 9. Барранка Бибуса: морфология (А) и строение разрезов в головке барранки (Б)
Усл. обозначения см. рис. 6

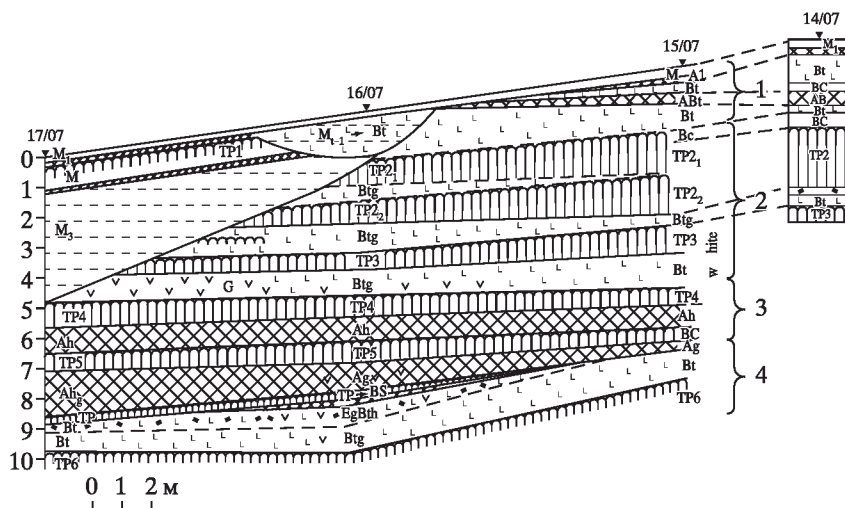


Рис. 10. Геолого-геоморфологический профиль барранки Бибуса

Справа перед фигурными стрелками – нумерация серий: 1 – серая, 2 – бурая, 3 – темная, 4 – красная. Остальные усл. обозначения см. рис. 6

Поверхность мыса сложена обнаженной сильно оглеенной тепетате TP 3. После слияния верховий барранок, современный немеандрирующий овраг прорезает палеоовраг, заполненный несколькими слоями коллювия с погребенными почвами.

Хорошая обнаженность стенок барранки Бибуса, особенно борта восточной экспозиции, позволила детально проследить изменение не только основных стратиграфических слоев, но и выделить ранее не описанные, изучить катены, несогласия в залегании слоев (рис. 9Б, 10). Строение пород в верхней части барранки охарактеризовано разрезом 14/07 в северо-восточной части циркообразной головки и разрезом 15/07, где начинаются интенсивные эрозионные процессы, а также катенарными и фациальными сопряженностями в локальном понижении в западной части барранки (разрезы 15а/07, 15в/07, 15с/07, рис. 9Б). Там обнаруживается неоднократное унаследование древней депрессии (на первоначальном уровне TP 3 бурой серии) катенами серой серии.

В разрезе 14/07 вскрывается наиболее полное строение пород серой серии и верхней части бурой. Серая серия представлена коллювием и двумя погребенными почвами, разделенными горизонтом BC (не уплотненным). В стенке головки сверху вниз обнажается голоценовый коллювий (M 1) мощностью 30 см, похожий на тепетате – плотный, сцементированный, темно-серый, ожелезненный суглинок с многочисленными копролитами и керамикой. После резкого перехода развита погребенная почва Pd 1 (палеолувисоль) с горизонтами: гумусо-аккумулятивным A1 (30–50 см) и иллювиальным Bt (50–140 см). Ниже залегает переходный горизонт BC (140–170 см) – светло-бурый уплотненный суглинок крупноореховатой структуры. В интервале глубин 120–235 см развита погребенная почва Pd 2 с горизонтом AB (120–220 см), представленным слабогумусированным суглинком и горизонтом Bt (220–235 см), который постепенно переходит в BC (235–290 см) – палево-бурый уплотненный опесчаненный.

Ниже развита бурая серия, начиная с тепетате TP 2 (290–440 см) – плотная, сцементированная, буровато-палевая супесь с осветленными зонами, ходами землероев и каналами, покрытыми кутанами. Осветленные зоны – пятна вымывания и оглеения, снаружи ожелезненные. Тепетате TP 2 залегает на слегка эродированной погребенной почве Pd 3 бурой серии. Профиль почвы Pd 3 наиболее сохранившийся, включает горизонт EBg (440–450 см) – светло-серый суглинок с ожелезненными каналами и горизонт Btg (450–500 см) – бурый суглинок крупнопризматической оскольчатой

структуры с тонкими железисто-глинистыми кутанами. Ниже с глубины 500 см развита тепетате TP 3.

В западной части головки между разрезами 14/07 и 15/07 прослеживается локальное понижение (разрезы 15/а, 15в, 15с), где заметно падение слоев в сторону небольшого отвершка барранки Концепсион, обратного падению тальвега барранки Бибуса. Понижение заполнено глеевым горизонтом с карбонатными конкрециями (рис. 9Б, 10). Глеевый горизонт выклинивается в северном и южном направлении и перекрывается современным коллювием мощностью не более 25 см. На микроводоразделе (разр. 15а/07) нет глеевого горизонта и темной почвы. Здесь под современным коллювием М 1 мощностью 40 см вскрываются погребенные лювисоли Pd 1 с горизонтом EBt (40–60 см) и Pd 2 с горизонтами AB (60–130 см) и Btg 130–150 см. Эти два горизонта ниже по склону депрессии в разрезе 15в/07 (транзитно-аккумулятивный сектор катены) замещаются глеевым горизонтом Bg. В разрезе 15а/07 развита бурая серия, представленная почвой с горизонтом Bt (150–300 см), подстилаемый тепетате TP 2. На склоне понижения – в разрезе 15в/07 появляется оглеенный горизонт, в днище – в разрезе 15с/07 (аккумулятивный сектор) он насыщен карбонатными конкрециями округлой формы размером 2–5 см. Глево-карбонатный горизонт подстилается локально развитой тепетате – TP 1₁, которая замещает верхний горизонт BC в разрезе 14/07.

С разреза 15/07 начинается заметное падение основных слоев по склону (рис. 10). Здесь современный коллювий (М 1, 0–30 см) погребает почву Pd 1 с горизонтами A1 (30–50 см) и Bt (50–80 см), которая развита на почве Pd 2 с горизонтами AB (80–120 см) и Bt (120–200 см). Ниже залегает горизонт BC (200–230 см), который коррелируется с TP 1₂. Между почвами 1 и 2 тепетате нет. На уровне второй погребенной почвы прослеживается катена: вправо от разреза 15/07 гумусовый и иллювиально-глинистый горизонты почвы замещаются оглеенными вариантами, затем на уровне горизонта Bg появляются карбонатные конкреции. Эта катена подстилается TP 2. Она более древняя, чем описанная выше катена на уровне первой погребенной почвы (разрезы 15а, в, с). Верхняя граница бурой серии здесь эрозионная – первая почва отсутствует. Бурая серия включает три тепетате и две погребенные почвы – обе лювисоли, в разной степени оглеенные.

Вниз по склону от разреза 15/07 серая серия выклинивается и замещается коллювием М 1, который в разрезе 16/07 достигает мощности 1.5 м. Этим разрезом вскрыто начало двух врезов, заполненных коллювием разных генераций (рис. 10). Локально развитый коллювий М 2-1 заполняет небольшой овражек. Здесь под современным коллювием М 1 развита лювисоль, проработавшая коллювий М 2-1 на горизонты EBt и Bt. Так как овражком срезаются нормально залегающие слои серой серии, описанные в разрезах 14 и 15, следовательно, он наиболее молодой. Ниже до глубины 200 см развит уплотненный слоистый коллювий более древней генерации, заполняющий крупный врез (палеовраг). Палеоврезом частично срезается тепетате TP 2 бурой серии, которая в этой части разреза разделяется оглеенной лювисолью на два слоя TP 2₁ и TP 2₂.

Разрез 17/07 вскрывает палеоврез, заполненный коллювием трех генераций. Современный коллювий (0–20 см) тонким чехлом перекрывает нижележащие горизонты. Под ним сформирована почва с горизонтом A1 (20–40 см), развитая на коллювии М 2 (40–110 см), имеющим некоторые признаки иллювиирования глины и в нижней части уплотненным. Ниже залегает темная лювисоль (110–125 см), развитая на более древнем коллювии М 3 (125–485 см), состоящем из слегка уплотненных и не уплотненных слоев. В данном разрезе этим коллювием замещены слои бурой серии до белой TP 4 (485–580 см), перекрывающей более древнюю темную серию (Dark unit).

Радиоуглеродный возраст верхней погребенной почвы в разрезе 18/07 (она же верхняя и на противоположном склоне барранки (рис. 10), расположенном на останце между барранками Бибуса и Минор – 4380±150 BP (табл.).

Ниже по продольному профилю барранки все слои до ТР 6 срезаются палеобарранкой, которая заполнена тремя генерациями коллювия, образованного из педоседиментов и продуктов разрушения тепетат. Непосредственно ниже современного коллювия М 1 залегают слои коллювия М 2 и М 3, разделенные погребенной почвой с темным горизонтом. Коллювий М 3 обладает типичной слоистой текстурой, созданной сильными временными водотоками.

Морфология и продольный профиль барранок. Все изученные барранки начинаются с циркообразных депрессий – головок диаметром 70–130 м и более. Как правило, они связаны с палеодепрессионными формами, занятыми глееосолями, оглееными лювисолями и тепетатами, состоящими из переслаивающихся суглинков и супесей – отложениям мелких замкнутых водоемов – озерц (рис. 5, 9Б).

В днищах некоторых головок накапливаются не только карбонатные конкреции, но и артефакты, вымытые из культурного слоя, переотложенные на экспонированную поверхность древней тепетате. Иногда такие площадки обнаженных тепетат смыкаются с аналогичными эрозионными площадками других барранок или их отвершков, образуя “скальпированные” участки, полностью лишенные не только почвенного покрова, но и чехла рыхлого мелкозема, с редкими низкорослыми травами, растущими в трещинах. В районе Тлалпана – это склон западной экспозиции соседней барранки (рис. 2). Такие участки достигают значительных размеров и практически непригодны для сельскохозяйственного использования. Их культивация – одна из важных проблем фермеров Мексики.

Стенки головок высотой 3–5 м вертикальные, хорошо обнаженные, сложены слоями серой и бурой серий. Днище головки образует слабонаклонная площадка обнаженной плотной тепетате бурой серии: первой (ТР 2) в Молодой барранке или первой и второй (ТР 2 и ТР 3) в барранке Бибуса. Площадки наклонены под углом 3–5° в направлении падения тальвега барранок. Образование головок барранок, вероятно, начинается с формирования полужамкнутого понижения на пологом склоне в результате плоскостной и ветровой эрозии. Разрушаются (выдуваются и вымываются) породы серой и частично бурой серий до первой тепетате. На площадке присутствуют останцы прежней поверхности, предохраненные от размыва корнями опунций, можжевельника, кустарников и реже травянистых растений. Площадки обнаженных тепетат разбиты на закругленные блоки трещинами шириной 2–5 см, заполненными рыхлым мелкоземом. По мере продвижения по склону вмещающий материал вымывается, и поверхность приобретает разобщенную столбчатую или конусовидную форму. В горизонтальном срезе (на обнаженной поверхности дороги) видно, что трещины образуют многогранники (четырёх-, пяти-, шести- и т. д.). На стыках трещинах сосредоточены крупные карбонатные конкреции.

В днище сниженной части головки появляется рывтина, превращающаяся далее в промоину глубиной до 2–3 м, которая затем переходит в глубокий каньонообразный овраг глубиной до 6–8 м с сильно меандрирующим руслом, свидетельствующем о большой силе водного потока. Овраг быстро расширяется и сливается со стенками головки, достигая глубины 10–13 м, превращаясь в крупную эрозионную форму – типичную барранку. В местах слияния или сближения тальвегов двух или нескольких барранок, как например Молодой и Старой, образующих барранку Тлалпан, днище существенно расширяется, и в нем сохраняются останцы прежних днищ, в виде причудливой формы столбов и пирамид.

Поверхность обнаженной бурой ТР 2 и (или) ТР 3 ближе к оврагу разобщается на отдельные останцы, которые разрушаются регрессивной эрозией. В эродированной части серая серия значительно редуцирует. Тепетате бурой серии ближе всего походит к современной поверхности и перекрывается только маломощным слоем коллювия.

Ниже по продольному профилю барранок вскрываются палеоврезы, заполненные слоистым коллювием, включающем 1 или 2 уровня погребенных почв и слои маломощных тепетат. Все изученные барранки заложены в древнем коллювии (Длинная,

Молодая, Бибуса) или идут по прислонению коллювия и коренного склона (низовья Тлалпан, разрезы 13/07 и 13а/07). Они, таким образом, наследуют линейные эрозионные формы предыдущего этапа врезания. В этой части продольного профиля склоны барранок отвесны, русло не меандрирует. Это – первый очевидный признак палеооверражных систем.

Барранка Бибуса располагается в более сниженной части склона и вследствие этого отражает особые геоморфологические условия – в большей степени аккумулятивные, чем денудационные. В головке барранки Бибуса, как и в Молодой барранке, карбонатные конкреции совпадают с глеевым горизонтом. Длительно сохраняющееся наследование мелкой депрессии можно объяснить чуткой реакцией почв и пород на изменение водного режима, связанного с неровностями в твердой поверхности погребенных тепетат, позволяющих, вероятно, удерживать внутрипочвенную влагу более длительное время.

В строении главной стенки барранки Бибуса присутствуют все основные стратиграфические уровни тепетат и почв, выделенные в других разрезах, а многие из них подразделены на локальные уровни. Между красной и бурой сериями выделен новая серия – темная (Dark unit), состоящая не менее, чем из двух почв.

Барранка Бибуса и ее отвершек – барранка Минор прорезают мощную толщу бурого коллювия М 3, перекрытого почвой, сверху которой развита тепетате. В южной части стенки описан небольшой врез, заполненный коллювием. И так как там нет горизонта погребенной почвы или развитой тепетате, исключая современную почву, это депрессия может быть отнесена к самой молодой геоморфологической форме в данном ландшафте. Таким образом, хотя основное развитие палеобарранок имело место в позднеледниково́е и в раннем голоцене, но на сниженных поверхностях продолжалось и в среднем голоцене.

Интерпретация полученных данных

Формирование озерца. Профиль в головке Молодой барранки (разрезы 19/07, 20/07) содержит слой с карбонатными конкрециями непосредственно над глеевым горизонтом. Такой же феномен обнаружен в барранке Бибуса (разрезы 15 в, с/07) и реликты его найдены в головке барранки Тлалпан (разрезы 5/07, 6/07). Блок Тласкала, к которому приурочен район исследования, сложен в основании карбонатными отложениями (диатомитами), выходящими на поверхность в долинах некоторых барранок, например в барранке Бланка. Т. Петч объясняет присутствие карбонатов в серой серии, тем, что при извержении вулканов фрагменты древних озерных отложений, содержащих карбонаты, могли переноситься выше своего первоначального залегания [8]. В дождевой сезон кальцит растворялся и перемещался в маленькие, мелкие бассейны. В сухие периоды растворенный материал вновь осаждался, образуя округлые конкреции диаметром 3–5 см. По нашему мнению, карбонатные конкреции могли образовываться в мелких водных бассейнах (озерцах) без привноса древних озерных отложений при извержении вулканов, накапливаясь *in situ* в засушливые эпохи. При засухах вода усиленно испарялась. Раствор становился насыщенным, что приводило к аккумуляции кальцита. Озерца мелели, и в них образовывались карбонатные конкреции.

Подобные озерца, вернее их остатки, присутствуют на разных уровнях склонов малых вулканов и в наше время (рис. 5). Они активно используются фермерами для водопоя овец и крупного рогатого скота. Остаток такого озерца (лужа) сохранялся в сухом сезоне 2007 г. в головке барранки Длинной. Осенью 2009 г. в конце дождевого сезона его размеры значительно увеличивались. Маленькие озерца формировались на размытой поверхности тепетат, сохранивших остатки глинистых горизонтов Bt, служивших водоупорами. Озерца существовали некоторое время, пока во время сильных дождей (тренд в сторону увлажнения климата) не прорывались и вода уходила, образуя промоины, а затем барранки. Или озерца постепенно высыхали, оставляя по-

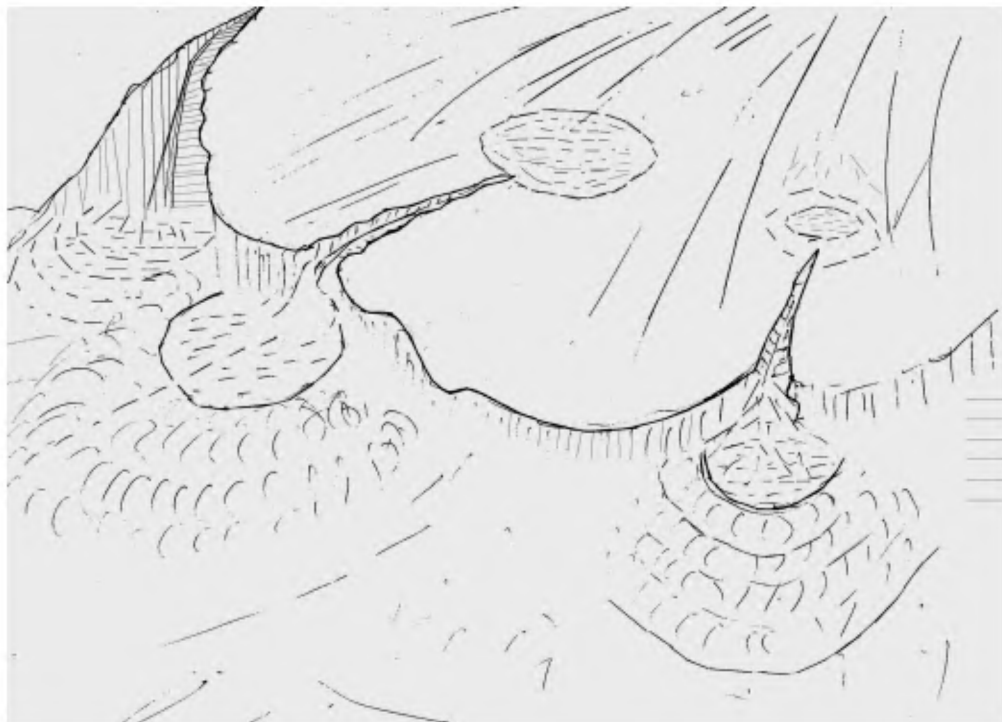


Рис. 11. Возможные модели образования озерца на разных уровнях склона
Усл. обозначения см. рис. 6

сле себя карбонатные конкреции в глеевых горизонтах и специфические ритмично слоистые породы (тренд в сторону аридизации климата).

Длительное существование водоема способствовало оглеению прибрежных почв, что и объясняет такой феномен как соседствующий с карбонатными конкрециями глеевый горизонт. В разрезах головок барранок можно наблюдать длительно сохраняющееся наследование мелких палеодепрессий, как например, в разрезах 1/03(4) или 15 а, в, с/07. Палеодепрессии на уровне позднеледниковой почвы Pd 1 из разреза 20/07 наследуются вплоть до культурного слоя и одновозрастного с ним горизонта с карбонатными конкрециями (около 4.19 тыс. лет BP).

Озерцо в верховье Молодой барранки (разрез 20/07) начало свое существование еще в позднеледниковье (рис. 11, 12). По изменению напластования почв и отложений можно восстановить последовательный ряд событий: формирование почвы (лювисоли) TX 1 или Pd 1: A1-E-Bt → размыв поверхности и образование депрессии → заполнение депрессии водой и существование озерца (слоистые отложения) → обмеление озерца и образование карбонатных конкреций → высыхание озерца, образование тепетате из слоистых озерных отложений (ТР 1 – 12400±200 BP). Через некоторое время, при создании подходящих условиях оно вновь возникло. Кальцит, накопленный в позднеледниковом озерце, неоднократно мигрирующий по педо-тепетатной толще, в засушливую фазу около 4.2 тыс. лет BP, вновь выпал в осадок, образуя округлые конкреции. В верховье барранки Бибуса эта история нашла более детальное отражение.

В разрезе 19/07 в Молодой барранке под современным коллювием залегает культурный слой древнего поселения, содержащий большое количество обсидиановых отщепов и пластин, фрагментов керамики. Культурные наслоения размываясь, оставляли артефакты на площадке, образованной тепетатой ТР 3 бурой серии, которые

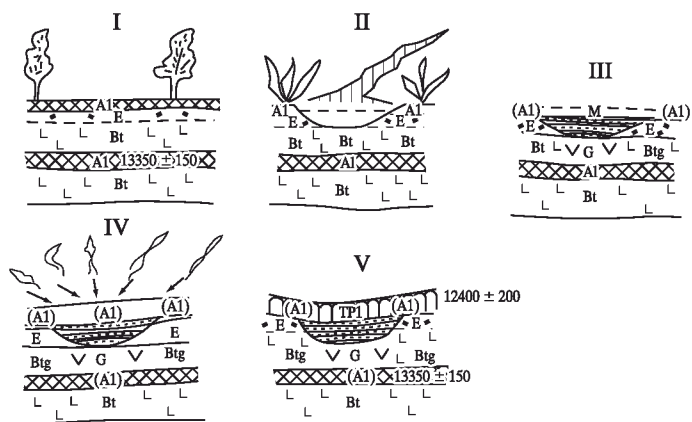


Рис. 12. Этапы развития озера в верховьях Молодой барранки

I – образование лувисоли с типом профиля A1-E-Bt, II – создание ложа депрессии (озерца) линейной или ветровой эрозией, III – функционирование озерца – накопление слоистых озерных отложений, IV – прорыв или высыхание озерца и заполнение депрессии переотложенным материалом гумусового горизонта (A1), V – превращения коллювия (A1) в тепетате (TP 1)

присутствуют в таком изобилии, что можно говорить о нахождении здесь крупного стационарного поселения. Поселение не могло существовать без постоянного источника воды. И только подобные резервуары – озера в возвышенной хорошо дренированной местности, где вблизи отсутствуют постоянные водотоки, могли некоторое время снабжать водой население. В настоящее время подобные озера все еще можно встретить в селениях, где они зачастую искусственно поддерживаются с помощью обваловывания. Возраст озерца, вероятно, различный от позднеледникового до позднеголоценового.

История развития палеовреза. Время формирования ложа палеовреза в Молодой барранке, вероятно, относится к периоду, предшествующему этапу формирования погребенной почвы Pd 2 в головке барранки (разрез 19/07) – моложе 13350 BP, но уже после формирования почвы Pd 1 с датой около 19 тыс. лет BP (разрез 6/03 на вершине склона), то есть в интервале 18–14 тыс. лет BP. Это подтверждается радиоуглеродным возрастом наиболее древнего коллювия в разрезе 28/07 – 13600 ± 600 BP (табл.). Материал коллювия, состоящий из переотложенного гумусового горизонта этой почвы, был перенесен на значительное расстояние вниз по склону во время заложения палеобарранки. Однако ниже продатированного слоя присутствуют слои тепетате и серовато-бурого коллювия, что дает основание отодвигать начало накопления коллювия на более ранний этап.

Таким образом, заложение глубокого вреза приходится на завершающую стадию висконсинского оледенения (рис. 12). Максимальные скорости осадконакопления (коллювий М 3) связаны с первым этапом заполнения палеодепрессии (до начала образования первой темной, непродуктивной почвы), приходящимся на интервал от 13600–12000 BP. Они реконструируют резко изменившиеся условия в сторону увлажнения климата. Стабилизация дна палеовреза происходила дважды и отразилась в формировании двух уровней палеопочв, разделяющих разновозрастные слои коллювия. Верхняя из почв в заполнении палеовреза Молодой барранки более развитая, с радиоуглеродным возрастом – около 8000 BP (табл.), формировалась до этого времени. Она захоронена под зубовидной тепетате аналогичного возраста, что показывает последовательность событий: формирование почвы – погребение ее под переотложенным педоседиментом и образование из него с добавлением пирокластического материала тепетате. Погребение почвы и последующее формирование тепетате, вероятно, было вызвано ухудшением экологических условий, которое произошло уже после 8000 BP.

В отложениях барраночных террас (бывших днищах, ныне заполненных) на хорошо развитой почве (лувисоли) оптимума голоцена фиксируется серия менее развитых почв и тепетат, показывающих на усиление и неоднократное возобновление эрозии-

онно-аккумулятивных процессов во второй половине голоцена. Нижняя из тепетат, образованных из переотложенного гумусового материала, имеет возраст моложе 4300 ВР. Близкий возраст имеют карбонатные конкреции и фрагмент керамики из разрезов головки Молодой барранки.

Механизм и причины ускоренной эрозии. Большое количество углей в сером, гумусированном коллювии и в нижнем слое тепетат, свидетельствует, что спусковым механизмом для возникновения ускоренной природной эрозии были сильные пожары. Уничтожение лесной растительности на склонах, где пожары наиболее сильны, обнажили поверхность почвы и провоцировали эрозию [11]. Роль пожаров в формировании пород серой серии подтверждается наличием большого количества фитоцитов темного цвета – индикаторов воздействия огня [2]. Первопричиной пожара могли быть удар молнии на фоне длительной засухи или падение вулканического пепла. Изучаемый район был заселен людьми около 3.5 тыс. л. н. [3], а по нашим данным на 760 лет раньше (^{14}C -дата по керамике – около 4.26 тыс. лет ВР, но возможно дата удревнена), следовательно, темные фитоциты в верхних горизонтах серой толщи могут быть также следами обширных пожаров, связанных с хозяйственной деятельностью. С этого времени можно говорить о возрастающей роли антропогенного фактора в эрозии почв.

Этапы развития ландшафтов разреза Тлалпан. Проведенное исследование позволяет реконструировать историю развития ландшафтов Молодой барранки, которая может рассматриваться как подробная модель образования линейных форм (оврагов) в позднеледниковье и голоцене (рис. 11, 12).

1. Образование лувисолей около 13350 ВР (14000–13000 ВР).
2. Заложение ложа озера и формы головки будущей барранки.
3. Функционирование озера. Оглесение лувисоли на дне и берегах озера.
4. Частичное заполнение озера осадками, периодическое пересыхание и образование ТР около 12400 ВР. Образование карбонатных конкреций.
5. Прорыв и катастрофический спуск озера. Линейная эрозия. Формирование ложа палеовреза.
6. Частичное, периодически возобновляемое заполнение палеовреза коллювием М 3 и прерывание почвообразованием, по крайней мере, дважды, второй раз около 8100 ВР.
7. Образование зубовидной тепетате в палеобарранке из пелоседимента (А1). Возраст ТР – моложе 8100 ВР. Похолодание после 8000 ВР.
8. Продолжение заполнения палеовреза коллювием М 2.
9. Стабилизация и почвообразование – около 6200 ВР.
10. Периодическое возобновление озера в головке барранки, оглесение почв во влажные фазы, накопление карбонатов в сухие фазы (4190 ВР). Заселение берегов озера – образование культурного слоя.
11. Сглаживание склона за счет эрозии и накопления коллювия М 1.

Антропогенная эрозия также происходила в несколько этапов: образование эродированных площадок (головок), заложение барранок в теле заполненных палеоврезом, формирование бедлендов.

Заключение

Изучение морфологии и эволюции древних эрозионных форм позволило установить этапы неоднократного возобновления ускоренной эрозии, превращающей плодородные ландшафты в бедленды.

Линейные эрозионные формы – барранки, таким образом, врезались несколько раз:

- 1) после 19–18 тыс. лет ВР, но перед 14–13.6 тыс. лет ВР – закладывается ложе палеовреза;
- 2) в позднеледниковье – раннем голоцене (между 12.4–8 тыс. лет ВР);

3) после оптимума голоцена при изменении тренда к похолоданию (около 4.5–4.3 тыс. лет ВР);

4) во время первичного освоения территории человеком. Возможно, 3 и 4 этапы совпали;

5) врезание современных барранок. Современные овраги – явление относительно молодое, в большой степени, обусловленное совпадением природной тенденцией – расчленения рельефа и ускоренной антропогенной эрозией. В верховьях они прорезают древние педо-тепетатные толщи, ниже идут по коллювиальным позднеледниково-голоценовым заполнениям, накопившимся в предшествующие этапы развития барранок.

Наиболее высокие скорости рельефообразования приходятся на позднеледниковье (заложение палеоврезов) и настоящее время (массовое формирование барранок). Последние этапы эрозии связаны большей частью с деятельностью человека.

Природный механизм ландшафтных перестроек связан с естественными пожарами, извержениями вулканов, катастрофическими ливнями. Антропогенный – сведение естественной растительности, распашки склонов, заложение каналов, троп и дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Quantin P., Arias A., Etchevers J. et al.* Tepetates de Mexico: Caracterizacion y Habilitation para la agricultura. Informe Cientifico final del Proyecto TS-A 212-C CE/ORSTOM // Terra. 1993. № 11.
2. *Boyd M.* Identification of Anthropogenic Burning in the Pleistocene Record of the Northern Prairies: A New Approach // Annals of the Association of American Geographers. 2002. № 92/3. P. 471–487.
3. *Heine K.* Paleopedological evidence of human-induced environmental change in the Puebla – Tlaxcala area (Mexico) during the last 3,500 years // Revista Mexicana de Ciencias Geologicas. 2003. № 20. P. 235–244.
4. *Gonzalez S., Jiménez-López J.C., Hedges R. et al.* Earliest humans in the Americas: new evidence from México // Journ. of Human Evolution. 2003. № 44. P. 379–387.
5. *Werner G.* Post-conference field trip: Modern Andosols of the Sierra Nevada and relict polygenetic Luvisols with tepetates (indurated horizons in volcanic sediments) // VI Intern. Symposium and Field Workshop on Paleopedology – Field Excursion Guidebook. Mexico. 2001. P. 59–98.
6. *Vázquez-Selem L., Zinck J.G.* Modelling gully distribution on volcanic terrains in the Huasca area, central Mexico // ITC Journ. 1994. № 3. P. 238–251.
7. *Sedov S., Solleiro-Rebolledo E., Gama-Castro J.E.* Andosol to Luvisol evolution in Central Mexico: timing, mechanisms and environmental setting // Catena. 2003. № 54. P. 495–513.
8. *Poetsch T.* Forms and Dynamics of Silica-gel in a Tuff-Dominated Soil Complex // Revista Mexicana de Ciencias Geologicas. 2004. № 21-1. P. 195–201.
9. *Sedov S., Solleiro-Rebolledo E., Terhorst B. et al.* The Tlaxcala Basin paleosol sequence: a multiscale proxy of middle to late Quaternary environmental change in Central Mexico // Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 2009. № 26(2). P. 448–465.
10. *Sedov S., Solleiro-Rebolledo E., Gama-Castro J.E. et al.* Buried palaeosols of the Nevado de Toluca: an alternative record of Late Quaternary environmental change in central Mexico // Quaternary Science. 2001. № 16. P. 375–389.
11. *Сычева С.А., Дайнеко Е.К., Чичагова О.А.* Древний этап эрозии почв Среднерусской возвышенности // Геохронология четвертичного периода. М.: Наука, 1992. С. 34–40.

Ин-т географии РАН,
Instituto de Geología, Universidad Nacional
Autónoma de México, Mexico

Поступила в редакцию
11.03.2011

LANDSCAPE AND RELIEF EVOLUTION OF THE CENTRAL MEXICAN PLATEAU IN THE FINAL STAGE OF LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE

S.A. SYCHEVA, S.N. SEDOV, E. SOLLEIRO-REBOLLEDO

Summary

The paper describes the reconstructed history of landscapes and relief of the Central Mexican plateau in the final stage of Late Pleistocene and Holocene. The new stage of erosion has started in LGM with the formation of small lakes and further initiation of barrancos – gullies along the slopes of small and large volcanoes. This stage was not unidirectional, but had several alternating stages with the filling of depressions (small lakes, heads of barrancos, paleocuts) and their stabilization with the formation of heterochronous soils. The highest rates of gullies formation took place at the end of Pleistocene – beginning of Holocene, and at the present time when the badlands are forming. The stages of linear erosion (formation of barrancos) alternated with the increased sheet erosion (accumulation of colluviums in the depressions with further soil or tepetate formation). Soils were associated with the warm and wet enough climatic conditions about 13 350, 8 100, and 6 200 years BP. Tepetates were formed under cool and wet environment. The role of small lakes was revealed. Small lakes at various levels being periodically broken through gave rise to the barrancos formation or dried out. The anthropogenic erosion had several stages: formation of the eroded sites (heads), barrancos formation inside the filled paleocuts, badlands formation. The “scalped” areas were formed in the sites of the contact of several exposed tepetates of various gullies. Such areas (badlands) may reach considerable size and are practically unsuitable for agricultural use.

УДК 551.435.8

© 2013 г. Е.В. ТРОФИМОВА

КАРСТОВЫЕ СИСТЕМЫ: СВОЙСТВА, ИЕРАРХИЯ И ОРГАНИЗОВАННОСТЬ

Карстовые явления получили широкое распространение на Земле: более 30% территории суши земного шара характеризуются развитием карста [1] (рис. 1). По В.Н. Дублянскому и Г.Н. Дублянской [2], карст проявляется на 66.5% площади России, оказывая существенное влияние на рельеф, сток (поверхностный и подземный), почвенно-растительный покров и хозяйственную деятельность человека. Как российские, так и зарубежные исследователи [3–7 и др.] неоднократно указывают на перспективность изучения карста с позиций системно-структурного подхода, рассматривающего совокупность “... элементов, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих единую целостность, единство” [8, с. 329]. Поэтому представляется весьма своевременным и актуальным рассмотреть свойства, иерархию и организованность карстовых геосистем, чему и посвящено данное исследование.

Развитие представлений о понятии “карстовая геосистема”

Впервые определение понятию “карстовая система” (син. – геосистема карстовая) дал в 1962 г. А. Кавайе. Под карстовой системой понимается: “Многоэтажная система карстовых полостей, находящихся в пределах разных гидродинамических зон: поверхностные формы, вертикальные колодцы и шахты, частично обводненные галереи, галереи, находящиеся ниже уровня местных рек и затопленные водой” [9, с. 165].

В 70-е гг. прошлого века среди карстологов к понятию карстовой системы укоренились два подхода. С одной стороны – это карстовая сеть [10], а с другой – карстовый водоносный горизонт [11]. Но уже в 1980–90-х гг. сформировался совершенно новый взгляд на определение карстовой геосистемы. Так, согласно С. Фабиан, карстовая система включает “... взаимодействующие подсистемы: тектонографическую,