

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И НАРОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 551.435.6

А. А. АЖИГИРОВ, В. Н. ГОЛОСОВ

ОЦЕНКА МЕДЛЕННЫХ СМЕЩЕНИЙ ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ МАСС
ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Современные требования к уровню инженерно-географических исследований вынуждают исследователей все более широко переходить на количественные методы оценки динамики экзогенных процессов. Это является следствием повышения надежности предпроектных оценок, с одной стороны, и освоения неудобных, преимущественно склоновых земель — с другой. В то же время существует дефицит натурных данных о темпах склоновых процессов ввиду отсутствия сети стационаров, сходной по типу с имеющейся сейчас по наблюдениям за оползнями. Медленные смещения почвенно-грунтовых масс, объединенные в литературе под общим названием «крип», исследованы в нашей стране слабо, что объясняется неочевидностью возможных катастрофических последствий, причиной которых может явиться крип. Медленные смещения почвогрунтов охватывают практически все склоны, действуют во времени практически постоянно и являются главной формой континентального сноса.

С начала 60-х годов нашего века в различных странах мира перешли к количественной оценке интенсивности крипа. Толчком к этому послужил разработанный А. Янгом [1] метод измерения абсолютных величин движения почвы и подпочвы, заключающийся в определении величины смещения металлических стержней, заточенных на конус и погруженных в вертикальную стенку шурфа, относительно неподвижных реперов, забиваемых в основание стенки в коренные породы. Простота и высокая точность измерений (десятые доли мм), наряду с возможностью многократного продления эксперимента, привлекли внимание многих исследователей и способствовали появлению ряда работ, в которых количественно определены темпы крипа для различных регионов [2—4].

Наши исследования проводились в различных природно-климатических зонах СССР (табл. 1). *Плато Бичесын* расположено в Приэльбрусье в альпийском среднегорном поясе на высотах 2500—2700 м над ур. моря. Климат района характеризуется значительной контрастностью в течение года — от теплого, иногда жаркого, умеренно влажного лета до холодной зимы с высоким снежным покровом и глубоким промерзанием почвы. *Чаткальский хребет* занимает северо-западную оконечность Тянь-Шаня и является одним из серии параллельно вытянутых хребтов, вдающихся своей краевой частью в равнины Каракумов. Сухой климат, характерный для этих мест, отличается высокой контрастностью внутрисуточных температур воздуха (до 30°) и относительно большим количе-

Таблица 1

Физико-географические условия районов исследования крипа

Район, период наблюдений, годы	Абс. отметки высот, м	Типичные параметры склонов		Механический состав почвы	Коренные породы	Количество осадков, мм/год		Глубина про- мерзания почвы, см
		крутизна, град	длина, м			общее	в том числе снего	
Плато Бичесын (Северный Кавказ), 1977—1982	2500—2700	18—33	200—300	Тяжелые суглинки, щебнистые суглинки	Песчаники	800	250	50
Чаткальский хребет (Тянь- Шань), 1976—1984	1500—1600	13—25	50—100	Пылеватые суглинки	Известняки	780	150	0
Бассейн р. Бзугу (ЧПК), 1977—1986	400—500	20—30	50—100	Тяжелые суглинки	Аргиллиты, песчаники, мергели	1530	10	0
Бассейн р. Протвы (Смо- ленско-Московская возв.), 1983—1987	200—250	5—20	50—250	Переслаивание суг- линков и песков	Известняки	600	200	60

ством осадков, выпадающих преимущественно в апреле-мае и ноябре-декабре в виде интенсивных ливней. *Бассейн р. Бзугу* типичен для малых рек Черноморского побережья Кавказа (ЧПК). Примыкая к побережью, он охватывает лишь предгорную и низкогорную области, для которых свойствен влажный субтропический климат с очень большим количеством осадков, часто ливневого характера, и полным отсутствием морозного периода. Изредка выпадающий снег моментально сходит. Для юга *Смоленско-Московской возвышенности* характерен умеренно континентальный климат с относительно прохладным летом и многоснежной зимой. Годы с промерзанием почвы до 1 м чередуются с более мягкими зимами, когда почва остается талой. В осенне-весенний период часты морозящие осадки.

Для наблюдений выбирались репрезентативные для изучаемых регионов склоны. Шурфы закладывались в верхней, средней и нижней частях склонов, что позволило выявить динамику процесса по всей длине от вершины до подошвы. Глубина закладываемых шурфов определялась мощностью рыхлообломочной толщи. Для измерений использовался усовершенствованный метод А. Янга, что позволило довести точность замеров смещений грунта до 0,1 мм. Порядок проведения опыта и техника измерений и расчета смещений при крипе подробно освещены в предыдущих работах авторов [5, 6].

Количественные характеристики медленных смещений почвенно-грунтовых масс (крипа) в различных природно-климатических зонах. При оценке скоростей крипа принято выделять параллельные склоновой поверхности (по склону) и вертикальные составляющие смещения. Последние для длительных интервалов времени (годы) объясняются уменьшением объема почвенной толщи за счет растревания материала и по существу отражают темпы химической денудации. Перемещения по склону вызываются воздействием сил гравитации при объемных изменениях почвогрунта, главными причинами которых являются: 1) расширение и сжатие материала при температурных колебаниях; 2) замерзание и оттаивание почвенной и грунтовой влаги; 3) набухание и усадка почвогрунта при увлажнении-усыхании.

Для отдельных природных зон известную, иногда решающую, роль в смещении склонового материала при крипе играют: деятельность червей, землероев и других представителей педофауны, раскачивание деревьев, увеличение нагрузок на поверхность склона, например при выпадении сильных ливней, и некоторые другие. В чистом виде влияние каждого фактора не проявляется, однако в конкретной природно-климатической зоне можно выделить ведущий из них, в наибольшей степени сказывающийся на интенсивности процесса. Для лесотундры, тайги, лесостепей и степей это периодическое замерзание и оттаивание влаги в почвогрунтах [7, 8]; для зон полупустынь, пустынь и сухих субтропиков — внутрисуточные колебания температур воздуха и почвенной поверхности [2] и, наконец, для областей распространения перенно-влажных и влажных вечнозеленых лесов (влажные субтропики и тропики) — явления набухания и усадки почвогрунтов [5, 9]. Сходная картина отмечается и для высотных поясов гор. Соответственно с учетом развития тех или иных процессов и были выбраны объекты исследования. Получены следующие результаты (табл. 2).

Минимальные скорости смещения материала по склону наблюдаются в зоне сухих субтропиков (Чаткальский хребет) — в среднем по толще 0,27 мм/год. Наиболее быстро (2—2,5 мм/год) почвогрунты смещаются в приповерхностных слоях (0—20 см) — в зоне значительных колебаний температуры почвы. С глубиной скорости крипа снижаются с 3—4 до 0,5—1 мм/год в слое 20—60 см и менее 0,2—0,3 мм/год в слое 60—190 см. По длине склона отмечается некоторое нарастание скорости движения от водораздела к подножию склона даже при небольшом выполаживании его (табл. 2). Вертикальные смещения здесь также невелики, причем в среднем по толще они больше смещений по склону и составляют в среднем 0,59 мм/год. В их распределении по глубине, в целом относительно равномерном, прослеживается четкая двувершинность с близкими по абс.

величине максимумами на глубинах 10—50 и 150—190 см, что подтверждается сходством скоростей смещения в приповерхностных слоях и в целом по толще (табл. 2). Такое распределение объясняется хорошей водопроницаемостью лесовых пород и почв. Вода, дренируя толщу, относительно равномерно насыщается растворами. Только на контакте с коренными породами темпы растворения возрастают. Прослеживается четкая тенденция увеличения темпов химической денудации вниз по склону.

Скорости смещения материала на склонах плато Бичесын и бассейна р. Бзугу сравнительно близки, причем это относится в равной мере как к параллельным склону, так и к вертикальным составляющим смещения. Однако распределение их по толще существенно различно. На Северном Кавказе максимальные скорости смещения почвогрунтов по склону (2,6—4,2 мм/год) приурочены к зоне периодического промерзания-оттаивания почвы (0—30 см) с максимумом в приповерхностных слоях (0—15 см). Помимо эффекта промерзания-оттаивания на скорости крипа, вероятно, сказывается набухание-усадка почвогрунта в результате его попеременного увлажнения и усыхания (годовое количество жидких осадков 550 мм). Вертикальные смещения на плато Бичесын также максимальны в слое 0—15 см и достигают 6—11 мм/год. С глубиной скорости смещения резко падают — до 0—0,3 мм/год у кровли коренных пород. Такое распределение вертикальных составляющих смещения свидетельствует о максимальных скоростях движения материала в период оттаивания замерзшей почвы, так как в любом другом случае растворение вещества в толще проходило бы более равномерно. Значительные скорости вертикальных смещений в приповерхностных слоях говорят также о возможности проявления суффозионных процессов в исследуемом регионе.

В бассейне р. Бзугу (Западный Кавказ), расположенном во влажном субтропическом поясе, главенствующую роль в медленном смещении почвенно-грунтовых масс играет процесс набухания-усадки в результате сезонной ритмики влажности субстрата. Наши исследования показали, что колебания относительной влажности почвы и подпочвы и отметок поверхности склона в течение года (10-летние наблюдения) почти полностью повторяют друг друга и подчиняются эмпирической зависимости следующего вида:

$$\Delta h = 2,7 \cdot (A - A_n),$$

где Δh — изменение отметок склоновой поверхности, мм; A — относительная естественная влажность почвы в слое 0—100 см, %, и A_n — минимальная влажность почвы (%), наблюдаемая в течение года. Опыты в бассейне р. Бзугу проводились продолжительное время, и вскрытие шурфов осуществлялось дважды, через 4 года и через 10 лет с момента начала эксперимента. Сравнение данных за 4 года и за 6 лет показывает хорошую сходимость результатов (табл. 2), что свидетельствует о высокой точности метода измерений, учитывая, что климатические условия за указанные интервалы времени были близки. Видимые различия отмечены лишь в скоростях смещения на лугу, возросших в 2—2,5 раза. Это связано с резким увеличением выпаса скота на луговых склонах, приведшем к деградации растительного покрова и частичному разрушению той пространственной каркасной сетки корней, ранее сдерживающей смещающиеся поверхностные слои почвы. Эпюра скоростей смещения по склону в зоне влажных субтропиков имеет четко выраженный максимум (2,5—3,5 мм/год), приходящийся на горизонт 15—30 см. Это объясняется сдерживающим влиянием корневой системы травянистой растительности, хорошо развитой благодаря обильному увлажнению. К аналогичным выводам на примере Прибайкалья пришел и Б. П. Агафонов [10]. С глубиной скорости смещения постепенно убывают до 0,1—0,3 мм/год у кровли коренных пород. В разрезах на нижних частях склонов подчас наблюдается второй, менее выраженный максимум на глубине 45—60 см, происхожде-

Средние и максимальные скорости смещения почвенно-грунтовых масс при крипе

Экспозиция склона, растительность	Расстояние шурфа от водораздела, м	Крутизна склона, град	Скорость смещения, мм/год					
			среднее значение			максимальное значение		
			мощность смещающегося слоя, см	по склону	по вертикали	мощность смещающегося слоя, см	по склону	по вертикали
Плато Бичесын (Северный Кавказ)								
С-В, луг	50	27	0—90	1,40	2,73	0—45	2,43	4,00
	200	25	0—75	0,96	1,42	0—45	1,33	1,97
	280	33	0—90	2,42	1,62	0—45	2,80	4,20
Ю-З, луг	50	18	0—60	0,53	1,97	0—30	1,00	2,60
	100	30	0—90	1,23	2,86	0—30	2,70	7,35
	210	23	0—60	0,64	0,94	0—30	1,25	1,50
Средние		26	78	1,20	1,92	37,5	1,92	3,60
Чаткальский хребет (Тянь-Шань)								
С-З, луг	25	20	0—190	0,30	0,56	0—70	0,38	0,33
	80	13	0—190	0,27	0,46	0—50	0,70	0,41
Юг. луг	20	18	0—170	0,24	0,52	0—70	0,45	0,56
	50	26	0—170	0,24	0,58	0—50	0,55	0,77
	90	14	0—170	0,30	0,85	0—50	0,71	1,02
Средние		18,2	178	0,27	0,59	58	0,56	0,62
Бассейн р. Бзугу (ЧПК, 1977—1980 гг.)								
В-Ю-В, лес	28	30	0—90	2,27	0,97	0—45	3,33	0,83
	50	28	0—75	2,00	2,28	0—45	2,60	2,43
	80	26	0—90	1,43	1,22	0—45	2,27	1,37
З-Ю-З, лес	19	25	0—85	0,96	0,68	0—45	1,47	1,23
	39	24	0—90	0,92	1,53	0—45	1,47	2,06
	57	23	0—75	1,04	1,42	0—45	1,40	1,60
Юг, луг	25	20	0—75	0,40	1,62	0—30	0,75	2,05
	40	21	0—75	0,55	1,46	0—30	1,00	1,90
Средние		24,6	82	1,20	1,40	41	1,79	1,68
Бассейн р. Бзугу (ЧПК, 1981—1986 гг.)								
В-Ю-В, лес	28	30	0—90	2,19	3,60	0—45	2,34	3,80
	50	28	0—75	2,42	2,54	0—45	2,70	2,69
	80*	26	0—90	0,28	2,07	0—45	0,36	2,58
З-Ю-З, лес	19	25	0—85	0,46	1,65	0—45	0,49	1,34
	39	24	0—90	0,93	1,31	0—45	1,19	1,55
	57	23	0—75	1,00	1,48	0—45	1,02	0,87
Юг, луг	25	20	0—75	0,95	1,43	0—30	1,24	0,82
	40	21	0—75	1,66	1,26	0—30	2,24	0,86
Средние		24,6	82	1,24	1,92	41	1,45	1,81
Бассейн р. Протвы (Смоленско-Московская возвышенность)								
С. лес	50	8	0—150	0,83	2,04	0—40	1,44	3,64
	85	14	0—160	1,33	2,65	0—43	2,75	4,86
	120	5,5	0—150	0,72	2,62	0—40	1,08	5,39
З. лес	50	3,5	0—150	0,94	1,13	0—40	1,43	1,67
	70	23,5	0—150	3,71	6,66	0—40	6,49	10,92
Средние		10,9	152	1,51	3,00	41	2,64	5,30

* В 2 м от шурфа сошел свежий оползень.

ние которого связано, по-видимому, с неравномерным растворением различных по механическому составу выветрелых флишевых толщ. Вертикальные составляющие скоростей смещения в среднем в 1,5 раза больше параллельных склону. Для их распределения в рыхлообломочной толще характерна двувершинность, сходная по типу с наблюдаемой на Чаткальском хребте, с максимумом у поверхности и на глубине 70—90 см. В среднем по толще отмечается нарастание вертикальных скоростей на участках, расположенных ниже по склону (табл. 2). Низкие скорости крипа у подошвы склона В-Ю-В экспозиции в бассейне р. Бзугу в 1981—1986 гг. объясняются сходом в непосредственной близости от разреза крупного оползня, способствовавшего улучшению дренажа склона.

На юге Смоленско-Московской возвышенности в условиях равнинного, холмисто-увалистого рельефа краевой зоны Московского оледенения наблюдаются заметные отличия в скоростях смещения почвогрунтов на склонах долины и овражных склонах. На склонах долины, несмотря на существенно меньшие уклоны, чем в других регионах, средняя скорость смещений по склону лишь немного ниже, чем в горных странах — 0,96 мм/год. Что касается вертикальных скоростей, то они даже выше (табл. 2). Такая интенсивность крипа вызвана, по-видимому, с одной стороны, многочисленными в течение года периодами заморозания и оттаивания, а также увлажнения и усыхания. С другой стороны, на скорость смещения влияет механический состав пород, слагающих склоны долин. Как правило, верхний 30—60-сантиметровый слой представлен суглинками дефлюкционно-делювиального происхождения, которые подстилаются мощной толщей неравномерно уплотненных косослоистых зандровых песков. Последние обладают хорошей водопроницаемостью, и в то же время в их толще активно протекают физико-химические процессы, способствующие интенсивному растворению вещества.

Особую группу составляют овражные склоны, на которых происходит наиболее интенсивное перемещение материала вследствие подмывания (подрезания) подножий склонов потоками, формирующимися в оврагах в период выпадения ливней и при снеготаянии. В результате постоянно имеющегося дефицита материала скорость смещения почвогрунтов возрастает более чем вдвое относительно остальных склонов, что следует учитывать при искусственной подрезке склонов при строительстве. Наиболее быстро перемещается толща до глубины 1 м.

Учет крипа при инженерно-географических исследованиях. Освоение горных территорий и крутосклонных земель на равнинах повсеместно способствует возрастанию неустойчивости склонов. Например, из 702 случаев катастрофического перемещения материала на склонах, происшедших в Гонконге в 1966 г., 489 были обусловлены неразумной подрезкой склонов при строительных работах [11]. Ряд разрушений произошел из-за недоучета скоростей смещения при крипе. Среди рассматриваемых районов наибольшую опасность крип представляет на Черноморском побережье Кавказа, где в активно осваиваемой курортной зоне медленные смещения почвенно-грунтовых масс ежегодно приводят к образованию трещин, к деформациям и даже разрушениям зданий, дорожного полотна и других инженерных сооружений [9, 12]. Кроме того, крип выступает в качестве одного из главных инициаторов при образовании и развитии оползней пластического течения, составляющих более 45% от общего количества всех кадастровых оползней (>1000), зарегистрированных на участке Адлер — Анапа.

В связи с существенно более слабой освоенностью склонов плато Бичесын, используемых преимущественно в качестве пастбищ, в настоящее время здесь нет примеров неблагоприятного воздействия крипа на хозяйственные объекты. Однако расширяющееся строительство крупных туристических и горнолыжных центров на Северном Кавказе уже столкнулось со случаями непредвиденного смещения опор канатных дорог и линий электропередач.

Интенсивность крипа на склонах Чаткальского хребта существенно ниже интенсивности других экзогенных процессов, протекающих в этой зоне. Например, интенсивность склонового смыва на пастбищах достигает 200—300 т/год с гек-

тара, а отступление бортов оврагов за счет осыпания и обваливания — 2—3 см/год. Однако почвенно-грунтовый крип при инженерных изысканиях в этом регионе должен учитываться, например, при проектировании широко используемых в сельском хозяйстве террасированных склонов.

В равнинных условиях Смоленско-Московской возвышенности крип наиболее интенсивно проявляется прежде всего на искусственно подрезаемых склонах. В результате возможны нежелательные подвижки опор в местах размещения мостовых переходов, деформации дорожного полотна и напоявление материала на него. Авторами неоднократно отмечались ощутимые деформации и сползание старых зданий, например в районе бульварного кольца г. Москвы, происхождение которых можно объяснить только медленными смещениями почвогрунтов.

Таким образом, во всех исследованных физико-географических зонах, за исключением пустынь, полупустынь и сухих субтропиков, необходимо учитывать темпы крипа для расчета деформационных нагрузок при строительстве на склонах различного рода сооружений и коммуникаций. В качестве мероприятий, направленных на подавление крипа, в первую очередь следует рекомендовать сооружение дренажных систем, систем безопасного отвода и сброса излишков воды с дефлюкционных и оползневых склонов, широкое применение укрепительных стенок, устройств, применение химических полимеров-структурообразователей (стабилизаторов) и известковых растворов для сползающих почвенно-грунтовых масс [6, 13].

ЛИТЕРАТУРА

1. Young A. Soil movement by denudational processes on slopes // *Nature*. 1960. V. 188. № 4745. P. 120—122.
2. Жураев Б. Р. Изучение эрозионных и гравитационных процессов в аридной и семиаридной зонах бассейна р. Кашкадарьи: Автореф. дис. канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 1977. 24 с.
3. Dedkov A. P., Moszherin V. I., Tchasovnikova E. A. Field station study of soil creep in the central Volgaland // *Z. Geomorphologie. Supplement* 1978. B. 29. P. 111—116.
4. Kirkby M. J. Measurement and theory of soil creep // *J. Geol.* 1967. V. 75. № 4. P. 359—378.
5. Ажигиров А. А. Учет смыва почвы и других денудационных процессов при освоении склоновых земель в субтропической зоне РСФСР // *Эрозия почв и освоение склоновых земель в субтропической зоне РСФСР*. Сочи, 1980. С. 89—86.
6. Ажигиров А. А., Голосов В. Н. Медленные смещения почвенно-грунтовых масс и методы их изучения // *Опасные природные явления*. М., 1987. С. 100—124 (деп. в ВИНТИ, № 6450—В87).
7. Дорошев П. Е. Оценка скорости движения почвенно-грунтовых масс с задернованных склонов // *Вестн. МГУ. Сер. 5. География*. 1972. № 6. С. 89—95.
8. Мозжерин В. И. Новые результаты стационарного изучения крипа в Среднем Поволжье // *Экзогенные процессы и эволюция рельефа*. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1983. С. 124—136.
9. Ажигиров А. А. Процессы современной денудации в субтропической зоне РСФСР: Автореф. дис. канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 1984. 28 с.
10. Агафонов Б. П. О природе медленного смещения рыхлого покрова // *Изв. АН СССР. Сер. геогр.* 1986. № 4. С. 62—84.
11. So G. L. Problems of slope instability the Hong Hong experience // *Philipp. Geograph. J.* 1978. V. 22. № 4. P. 180—187.
12. Золотарев Г. С. Сборник задач по инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1956. 179 с.
13. Шейдггер А. Е. Физические аспекты природных катастроф. М.: Недра, 1981. 232 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
5.IX.1988

SLOW MASS MOVEMENT ASSESSMENT IN ENGINEERING-GEOGRAPHICAL STUDIES

AZHIGIROV A. A., GOLOSOV V. N.

S u m m a r y

Mechanism, dynamics and zonal features of slow mass movement (creep) are considered on the basis of the results of many-year stationary observations carried out under different natural conditions. Epures of vertical and parallel to slope components of the mass-movement rates are analysed in view of factors of climate and lithology as well as soils and vegetation. The paper discusses rates of creep in the context of natural zones, and degree of the creep's unfavourable impact on constructions and communications. The creep process should be taken into account while surveying for construction. Some protective measures are recommended.

УДК 551.311.2(470.4)

В. В. СЕВОСТЬЯНОВ

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЦЕССА ПОДТОПЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ВОЛГОГРАДА

Территория г. Волгограда в течение последних 30 лет подвергается значительному подтоплению. Среднегодовые уровни грунтовых вод находятся на весьма незначительной глубине от дневной поверхности земли (рис. 1), что обусловило изменение физико-механических свойств горных пород (рис. 2, 3), ухудшение их прочностных и деформационных характеристик и как следствие — деформацию инженерных сооружений. Так, просадка лёссовых отложений вследствие их замачивания послужила причиной деформации многочисленных инженерных сооружений в Краснооктябрьском и Тракторозаводском районах. С набуханием хвалыньских глин связаны деформации поверхности в цехах сталепрокатно-канатного завода, зданий и сооружений в заканальной части города и в прибрежной полосе р. Волги. В результате набухания майкопских глин деформированы жилые здания в пос. Ангарском, инженерные сооружения на Мамаевом Кургане и в других районах Волгограда.

Проявления процесса излишнего обводнения грунта наблюдаются в основном в черте города. Это послужило поводом для объяснения главной причины подтопления всеобщим повышением уровня грунтовых вод на территории г. Волгограда как крупной промышленно-гражданской агломерации. Такое утверждение ошибочно, поскольку городскую территорию по особенностям ее гидрогеологического режима в целом нельзя считать крайне неблагоприятной в отношении подтопления. В пределах городской черты существуют значительные неподтопленные участки.

Геолого-геоморфологические и гидрогеологические исследования показывают, что подтопленные участки в пределах различных типов земельно-хозяйствен-