Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLIV, вып. 2, 1962 г.

ИЗМЕНЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ПРИ ВЫВЕТРИВАНИИ

В. Д. Ломтадзе

Под влиянием агентов выветривания состояние, состав и свойства глинистых пород могут существенно изменяться. Естественно, что у различных типов глинистых пород эти изменения проявляются неодинаково, в зависимости от состава, степени литификации, условий залегания, различной геохимической обстановки существования пород в недрах земли и господствующей в приповерхностных ее горизонтах. При решении строительных задач любые изменения прочности и устойчивости глинистых пород при выветривании имеют большое значение и подлежат учету.

Изменение состояния. Наиболее заметные и существенные изменения глинистых пород при выветривании наблюдаются в состоянии консистенции, монолитности и окраске. Это соответствующим образом сказывается и на изменении свойств пород.

Значительные изменения естественной влажности пород в приповерхностных горизонтах земной коры отмечаются главным образом до глубины 2—2,5 *м*, т. е. до глубины наиболее интенсивного воздействия атмосферных агентов. Обильное увлажнение, а иногда и переувлажнение пород характерно в периоды дождей, таяния снега, а также при промерзании, так как к охлаждающейся поверхности мигрирует влага и конденсируется. В результате изменяются прочность структурных связей и консистенция пород. При нарушении сложения породы становятся пластичными или даже текучими, резко снижаются прочность и устойчивость, вследствие чего они часто деформируются. Так, например, в северных и восточных районах СССР широко распространены явления солифлюкции, т. е. медленные «вековые» течения переувлажненных отложений со склонов, часто очень пологих, с углом наклона до 5—7°.

Развиты сплывы, т. е. сравнительно быстрые смещения приповерхностных горизонтов пород (делювиальных и элювиальных), обычно глинистого состава со склонов, откосов выемок и т. д. Эти деформации возникают вследствие увеличения веса пород при переувлажнении, изменения их консистенции и уменьшения внутреннего трения. К подобным деформациям могут быть отнесены, например, современные оползни глетчерного типа в Среднем Поволжье.

Изменение консистенции и свойств пород при увлажнении нередко приводит к образованию крупных оползней. Так, например, на Черноморском побережье Кавказа крупные оползневые смещения часто связаны с элювиальной переувлажненной зоной темно-синих глин чокрак-

ского горизонта неогена, слагающих крутые склоны. То же происхождение имеет ахунский оползень близ Сочи, где смещается мощная толща элювия олигоценовых глинисто-мергелистых отложений.

Существенные изменения состояния консистенции пород происходят и при аэрации. В результате этого слабые мягкие породы становятся тугопластичными или полутвердыми, более устойчивыми и прочными. При продолжительном и значительном высыхании под действием напряжений, развивающихся при усадке, эти породы нередко покрываются сетью трещин, шелушатся, естественные выходы их на поверхность покрываются осыпями щебенки. Следовательно, при высыхании глинистых пород сначала может измениться их консистенция, а затем и монолитность. Хорошим примером в этом отношении являются красно-бурые глины, почти повсеместно подстилающие лёссовые породы на юге Украины. Эти глины в естественных обнажениях обычно покрыты мелкой, остроугольной, неправильной формы щебенкой, образовавшейся из тех же глин в результате усадки и растрескивания при аэрации на обнаженных поверхностях.

Интенсивному разрушению при выветривании подвергаются также майкопские глины на Северном Кавказе. Эти глины, высыхая, распадаются на мелкие листочки и осколки, образуя мощные осыпи рыхлого материала. На Черноморском побережье Кавказа мощную элювиальную щебенистую зону образуют чокракские и олигоценовые глинистые и глинисто-мергелистые породы.

Совершенно неустойчивы при аэрации также пермские аргиллиты (ваппы), многочисленные выходы которых на поверхность отмечаются в долине р. Камы (в верхнем и среднем течениях). Эти аргиллиты при высыхании быстро растрескиваются и образуют осыпи щебенистого материала.

Изменение состояния глинистых пород — явление обычное не только в условиях естественного залегания, но и при вскрытии в откосах, котлованах и т. д. Здесь наблюдается не только изменение состояния консистенции и монолитности, но часто и плотности сложения в результате разуплотнения. Так, например, при вскрытии девонских песчано-глинистых отложений в котлованах Свирской ГЭС дно котлованов в результате разуплотнения вспучилось. Это вызвало увеличение объема земляных работ и совершенно изменило оценку устойчивости пород в основании ответственных сооружений. Примерно те же явления предполагались и в апшеронских песчано-глинистых отложениях при вскрытии котлованами Мингечаурской ГЭС. Однако там, благодаря детальным предварительным исследованиям пород, заключение о возможном их разуплотнении дано было раньше, что позволило соответствующими мероприятиями предотвратить деформацию пород в котловане.

Характерным примером являются изменения консистенции и соответственно свойств глин при выветривании в особых условиях Подмосковного бассейна, где значительную часть разреза угольной свиты занимают глины. Они имеют почти непрерывное региональное распространение в пределах западного и южного крыльев бассейна и являются вмещающими как пачек угля, так и глин других разностей. Поэтому почти на всех шахтах и рудниках Подмосковного бассейна все горные выработки проходят по глинам или углю, но с подрывкой глин в кровле и почве.

По физическим свойствам и состоянию эти глины являются породами сильно уплотненными и находятся в твердом или полутвердом состоянии. Реже плотность их может быть оценена как средняя, а конси-

стенция как скрытопластичная. Они слабосжимаемы, обладают сравнительно высокой прочностью и могут быть отнесены к типу пород полускальных. При нарушении естественных условий залегания и особенно увлажнении они заметно изменяют свое состояние — «раскисают», становятся мягкими, набухают и обусловливают резкое увеличение давления на крепи выработок, вызывая их деформацию.

Пучение («поддувание») глин в горных выработках в основном связано не со способностями глин набухать, а главным образом со способностью изменять свое состояние при увлажнении: терять прочность и выжиматься внутрь выработок под действием горного, а возможно, и гидростатического давления. Набухание же глин, обусловленное именно свойствами глин, усиливает этот процесс, и тем значительнее, чем больше выработка пройдена в глинах.

Таким образом, глинистые породы под влиянием агентов выветривания могут существенно изменять свою консистенцию и монолитность. Изменение консистенции — явление, характерное главным образом для пород слабых, подвергшихся малой степени литификации; изменение же монолитности, развитие трещиноватости характерно для глинистых пород, достаточно уплотненных.

Все эти изменения состояния пород наиболее заметны в приповерхностных горизонтах земной коры — в зоне активного выветривания. Здесь наблюдается наибольшее разрушение пород, заметно снижаются устойчивость и прочность и повышается водопроницаемость.

В зоне активного выветривания на различной глубине от поверхности степень и характер разрушения пород неодинаковы. Это позволяет выделить в зоне активного выветривания соответствующие подзоны. Так, Н. В. Коломенский [3] в элювиальной зоне апшеронских песчано-глинистых отложений Восточного Закавказья выделяет следующие подзоны: 1) тонкого дробления; 2) зернистую или мелкообломочную; 3) глыбовую; 4) монолитную. Согласно исследованиям Г. С. Золотарева [2], в зоне активного выветривания различных глин, обнажающихся по правому склону долины р. Волги между городами Ульяновском и Волгоградом, намечаются четыре подзоны: *А*, *Б*, *В* и *Г*. В подзоне *А* породы разрушены до состояния мелкой щебенки и глинистой массы и часто сильно ожелезнены. По Н. В. Коломенскому, эту подзону можно именовать подзоной тонкого дробления. Подзону *Б* образует щебенка разных размеров со следами различной степени ожелезнения (подзона мелкообломочная). Подзона *В* представлена кусками глины различной величины, плотно слежавшимися (подзона глыбовая). Следы ожелезнения, иногда сильного, распространяются и на эту подзону. Подзона *Г* охватывает массив пород, где следы выветривания обнаруживаются по наличию трещин выветривания, расчленяющих породу на крупные куски. Иногда трещины выветривания слабо заметны. Как отмечает Г. С. Золотарев, границы между подзонами нерезкие вследствие постепенного изменения состояния пород с глубиной.

В. Н. Славяновым приведено описание зоны выветривания юрских глинистых сланцев Крыма. Он отмечает здесь те же четыре подзоны выветривания, что и в породах Закавказья и Поволжья. Мощность зоны активного выветривания у различных глинистых пород неодинакова. В районе Поволжья у делювиальных суглинков она не превышает 1 *м*, у глин оксфордских, альбских и хвалынских достигает 2 *м*, у глин готеривских, барремских, аптских и маастрихтских — до 3,5 *м* и у майкопских — 6—7 *м*, а в некоторых случаях и больше, у апшеронских отложений — 6—7 *м*, а иногда и 9 *м*. Зона активного выветривания юрских сланцев Крыма примерно та же, что и апшеронских отложений.

Срок образования зоны активного выветривания невелик. Г. С. Золотарев определил, что в глинах Поволжья она формируется в течение нескольких лет. Специальные наблюдения С. В. Дроздова и Н. В. Коломенского за скоростью выветривания апшеронских глин Восточного Закавказья показали, что в этих породах через год образуется выветрелая зона мощностью около 60 *см* [1, 3].

Кроме консистенции и монолитности глинистых пород при выветривании заметно изменяется также окраска. Все глинистые породы в элювиальной зоне обычно приобретают неоднородную пеструю окраску с разводами, натеками, пятнами и другими формами пигментации красящих веществ (особенно часты окислы железа, марганца, органические соединения и пр.). Чем ближе к поверхности земли, тем все более и более светлой становится окраска пород. Некоторые глинистые породы изменяют свой цвет. Майкопские глины, например, в условиях естественного залегания зеленовато-серые, а в элювиальной зоне палево-голубые.

Изменение состава. Насколько значительно изменяется состав глинистых пород при выветривании, в настоящее время судить трудно, так как детальных исследований элювиальной зоны глинистых пород в разных географических зонах не производилось. Естественно, что в разных физико-географических условиях эти изменения неодинаковы. Остановимся только на тех, которые имеют наибольшее значение для инженерно-геологической оценки. С этой точки зрения наибольшего внимания заслуживает изменение дисперсности, состава основных породообразующих глинистых минералов и состава и содержания простых солей в элювиальной зоне глинистых пород.

Из вышеизложенного следует, что одним из наиболее заметных превращений в состоянии глинистых пород при выветривании является переход их из массивного состояния в тонкораздробленное. Этому способствуют воздействия температуры, влаги, организмов и растений, т. е. совместное воздействие различных агентов выветривания. В результате внутренние структурные связи пород ослабевают, разрушаются, уменьшается прочность породы в целом и отдельных слагающих ее агрегатов и микроагрегатов. При таких превращениях возобновляются и усиливаются процессы окисления, гидратации и особенно гидролитического разложения различных реликтовых минералов, встречающихся в любой глинистой породе. Все это обусловливает увеличение содержания вещества в тонкораздробленном состоянии в верхних горизонтах элювиальной зоны глинистых пород. Подтверждением сказанному могут служить данные об изменении содержания глинистых частиц в элювиальной зоне глинистых пород Поволжья (табл. 1) [2].

Из таблицы видно, что в верхних горизонтах элювиальной зоны глинистых пород Поволжья почти всегда увеличивается содержание глинистых фракций. Поэтому в элювиальной зоне вновь восстанавливаются, а иногда и усиливаются свойства, типичные для глинистых пород.

Одновременно с постепенным изменением степени дисперсности глинистых пород в элювиальной зоне происходят некоторые изменения и минерального состава. В зависимости от существующих климатических условий и соответственно преобладающих условий современного атмосферного выветривания и почвообразования в элювиальной зоне создаются благоприятные условия для сохранения и формирования определенных ассоциаций минералов. Так, в Европейской части Союза с севера на юг влажная зона тундры и лесотундры сменяется зоной избыточного увлажнения — леса, затем зоной переменной влажности — лесостепи и далее зоной недостаточного увлажнения — степей и полупу-

стынь, т. е. с севера на юг сумма годовых осадков постепенно уменьшается, а среднегодовая температура воздуха и испарение постепенно увеличиваются. В соответствии с этим более кислые условия атмосферного выветривания на севере постепенно сменяются более щелочными на юге. Поэтому в северных и центральных районах создаются условия, благоприятные для формирования гидрослюдистой, каолинитово-гидрослюдистой и гидрослюдисто-каолинитовой коры выветривания, а в южных районах — монтмориллонитово-гидрослюдистой. Иногда в южных районах глинистые породы могут достигать большей степени изменения, чем это типично для данных физико-географических условий, тогда в их элювиальной зоне наблюдается относительное увеличение содержания продуктов более глубокого изменения силикатов и алюмосиликатов. Так, например, в элювиальной зоне Поволжья глин оксфорд-кимериджских, неокомских и хвалынских устанавливаются низкие значения pH (кислая среда). Поэтому здесь наряду с сохранением или некоторым увеличением содержания гидрослюд повышается также содержание каолинита и снижается содержание полевых шпатов и продуктов их распада [2].

Таблица 1

Глина	Подзона элювия	Содержание фракций менее 0,005 *мм*, %
Мергелистая оксфорд-кимериджского яруса	*А*	72—81
	В	72
	Невыветрелая	70
Жирная неокомского яруса	*А*	77—79
	В	69—72
	Г	76
Плотная барремского яруса	*В*	52
	Невыветрелая	40
Песчанистая, тонкослоистая аптского яруса	*А*	54—56
	Невыветрелая	52
Песчанистая, тонкослоистая альбского яруса	*А*	58—66
	Невыветрелая	73
Мергелистая маастрихтского яруса	*А*	73
	Г	69
Мягкая хвалынского времени	*А*	78
	Невыветрелая	73

Естественно, что в кислой среде минералы из группы монтмориллонита — типичные для определенных физико-географических условий — не могут быть устойчивыми. Они разрушаются и переходят в минералы, более устойчивые в данных условиях, — минералы группы каолинита.

В элювиальной зоне глинистых пород существенно изменяются состав и содержание простых солей. Как известно, в условиях влажного климата, где элювиальная зона интенсивно промывается, она обогащается труднорастворимыми соединениями. Наоборот, при недостаточном увлажнении, когда элювиальная зона слабо промывается и испарение велико, в ней накапливаются легкорастворимые соли, происходит засоление пород. Здесь в результате капиллярного подсасывания минерализованных вод к поверхности и их испарения происходит миграция

легкорастворимых солей из более глубоких горизонтов и аккумуляция их в приповерхностных.

Таким образом, в северных районах в поверхностных горизонтах элювиальной зоны наиболее устойчивы полуторные окислы, южнее — в центральных районах — эти горизонты обогащены карбонатами. В южных районах элювиальная зона обогащается сульфатами (гипсом), а иногда и хлоридами. По данным наблюдений, для всех разностей глин Поволжья характерно значительное повышение общей засоленности элювиальной зоны, главным образом вследствие увеличения содержания гипса [2]. Так, например, общее количество воднорастворимых солей в зоне выветривания аптских глин увеличивается от 0,37 (187 *мг/л*) до 3,62% (1808 *мг/л*). То же наблюдается и в других глинистых породах. Изменение состава и содержания простых солей неминуемо сказывается на изменении свойств пород.

Изменение свойств. С изменением состояния и состава глинистых пород при выветривании изменяются и их свойства. В первую очередь уменьшается плотность сложения, увеличиваются влажность и сжимаемость, понижается сопротивление сдвигу. В соответствии с этим понижаются прочность пород и их устойчивость. Такое изменение свойств при выветривании наблюдается главным образом у пород, достаточно уплотненных, имеющих относительно высокую степень литификации. У пород слабых, мягких изменение свойств связано главным образом с изменением их консистенции вследствие аэрации. Высушивание обычно вначале обусловливает некоторое увеличение прочности пород, однако благодаря потери водоустойчивости, а при продолжительной аэрации и монолитности (растрескивание, дробление) породы теряют прочность и устойчивость.

Таким образом, выветривание глинистых пород, как и любых других, всегда в той или иной степени ухудшает их свойства. Данные об изменении свойств глинистых пород Поволжья при выветривании приведены в табл. 2 [2].

Таблица 2

Порода	Подзона элювия	Естественная влажность, %	Объемный вес, $г/см^3$	Объемный вес скелета, $г/см^3$	Пористость, %	Предел пластичности, %	Число пластичности	Набухание, %	Коэффициент естественной уплотненности
Глина оксфорд-кимериджского яруса	*А*	35—37	1,67	1,35	52	44	26	50	0,6
	В	28—30	1,97	1,53	46	43	26	—	0,9
	Невыветрелая	32	2,10	1,59	42	41	32	23	1,13
Глина неокомского яруса	*А*	34—38	1,56	1,15	59	43	32	52	0,56
	В	30—32	1,81	1,38	52	40—43	29—31	52	0,9
	Г	33	1,94	1,46	47	47	33	17	1,01
Глина аптского яруса	*А*	33	1,54	1,16	58	31	30	—	0,9
	Невыветрелая	30	1,87	1,56	43	30	34	27	0,4
Глина альбского яруса	*А*	24—35	1,69	1,30	51—53	31—36	35	—	—
	Невыветрелая	37	1,86	1,36	47	51	41	40	1,14
Глина барремского яруса	*А*	34	1,65	1,23	56	45—49	32—34	56	0,8
	Г	31	1,91	1,46	46	42	30	46	1,98
	А	19—29	1,67	1,35	52	38—50	25	35	0,78
Глина хвалынского времени	Невыветрелая	33	1,88	1,41	51	38	24	21	0,76
Суглинок делювиальный	Выветрелая	18	1,85	1,57	43	15	17	—	0,3
	Невыветрелая	22	1,88	1,54	44	27	18	13	0,6

Как видно из данных табл. 2, в элювиальной зоне, особенно в подзоне *А* (подзона тонкого дробления), у уплотненных глин заметно увеличиваются естественная влажность и пористость, уменьшаются объемный вес и естественная уплотненность, обычно увеличивается набухаемость и изменяются показатели консистенции.

У менее уплотненных глинистых пород (например, делювиальных суглинков, хвалынских глин) свойства изменяются менее резко, чем у глин уплотненных. У них в элювиальной зоне уменьшаются естественная влажность, объемный вес и несколько изменяются другие свойства. Исходя из данных табл. 2, все рассматриваемые в ней разности глин должны, по-видимому, характеризоваться несколько повышенными показателями сопротивления сдвигу (по сравнению с элювием) и пониженными показателями сжимаемости.

Таким образом, все вышесказанное подтверждает вывод, что при выветривании существенно изменяются физико-механические свойства глинистых пород в соответствии с изменением их состояния и состава. Элювиальная зона глинистых пород образуется сравнительно быстро, но в вертикальном разрезе по характеру и степени изменения пород выделяются несколько подзон.

При инженерно-геологическом изучении глинистых пород в зоне выветривания необходимо обращать внимание на: 1) мощность зоны и изменение ее по простиранию; 2) характер изменения пород с глубиной; 3) рельеф нижней границы зоны выветривания; 4) изменение состава, состояния и свойств пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздов С. В. К методике позонного изучения остаточной коры выветривания в инженерно-геологических целях. Тр. Совещания по инж.-геол. свойствам горных пород и методам их изучения, т. II. АН СССР, 1957.

2. Золотарев Г. С. Выветривание глинистых пород Поволжья и его влияние на устойчивость природных откосов. «Советская геология», 1948, № 35.

3. Коломенский Н. В. Методические указания по изучению процессов выветривания горных пород для инженерно-геологических целей. Госгеолиздат, 1952.

4. Коломенский Н. В. Инженерная геология, ч. II. Госгеолиздат, 1956.