Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова
т. XLVIII, вып. 1, 1963 г.

УДК 622.83.001.5

ПРИРОДА ЯВЛЕНИЙ ПУЧЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ПОДМОСКОВНОГО БАССЕЙНА

В. Д. Ломтадзе

Общая характеристика глинистых пород. Буроугольные месторождения Подмосковного бассейна находятся в сложных инженерно-геологических условиях, без учета которых горнопроходческие и очистные работы чрезвычайно осложняются. К числу явлений, вызывающих затруднения при освоении месторождений, относится пучение глинистых пород, вскрываемых горными выработками.

Среди глинистых пород угленосного горизонта Подмосковного бассейна наиболее широко распространены пластичные глины. Именно они являются главным образом вмещающими породами для залежей угля, слагая их почву и кровлю, или образуя межугольные прослои.

Пластичные глины — порода серого, голубовато-серого и черного цвета. Темная и черная окраска обусловлена присутствием большего или меньшего количества углистого вещества в виде пылевидных частиц и обуглившихся растительных остатков, равномерно или неравномерно распределенных в породе. При значительном содержании углистого вещества глины переходят в темные (почти черные) углистые разности.

Глины обычно имеют сплошное монолитное или неясно-слоистое сложение. При естественной влажности они жирные на ощупь, плотные, при изломе дают неровную грубую раковистую поверхность, колются по скрытым волосным трещинам или по слоистости. На поверхности излома нередко наблюдаются *зеркала скольжения*. В мокром виде глины очень пластичные и вязкие. При повышенном содержании песка они переходят в песчанистые разности.

Под микроскопом глины имеют чрезвычайно однородное, очень тонкозернистое сложение, состоят из мельчайших чешуек глинистых минералов с явно выраженным кристаллическим строением. Структура их в большинстве случаев типично пелитовая. Характерно наличие окислов железа в виде точечных скоплений, иногда придающих породе розовый оттенок. Сохранившихся растительных остатков мало. Пластичные глины, обогащенные форменными остатками органического вещества, приобретают фитопелитовую структуру. Песчаные разности глин отличаются повышенным содержанием частиц размером от 0,01 до 0,05 *мм*. Структура их алевропелитовая.

По гранулометрическому составу основная масса глин относится к легким разностям. Содержание глинистых фракций (меньше 0,002 *мм*) в них изменяется от 30 до 60%. Есть более тяжелые разности и более легкие — песчанистые, иногда переходящие в глинистые алевриты.

Исследуемые глины в основном пылеватые. Содержание пылеватых фракций (0,05—0,002 *мм*) в составе глин в большинстве случаев превышает содержание песчаных (больше 0,05 *мм*). В составе песчаных фракций преобладают только тонкие (0,05—0,1 *мм*) и мелкие (0,1—0,25 *мм*). Фракции размером более 0,25 *мм* в глинах составляют, как правило, доли процента.

Минеральный состав глин угленосного горизонта изучался неоднократно по образцам, собранным в разных пунктах бассейна. При этом в большинстве исследований изучалась грубодисперсная — песчаная часть глин. Основным минералом, как показали исследования, является кварц с разнообразно окатанными зернами. Встречаются полевые шпаты и слюда. В том или ином количестве отмечено присутствие циркона, турмалина, дистена, ставролита, рутила, магнетита, пирита, лимонита, сидерита и др.

Тонкодисперсная — глинистая часть глин, в основном определяющая их физико-механические свойства, изучалась немногими [2—6]. Все эти исследования, так же как и дополнительное комплексное наше изучение (методами окрашивания, термическим, рентгеновским и электронно-микроскопическим), показывают, что на обширной площади распространения угленосного горизонта минеральный состав тонкодисперсной части глин довольно однообразен. Основным минералом является каолинит. Поэтому глины в целом можно отнести к типу каолинитовых. Каолинит в них встречается как в виде мелких и крупных хорошо окристаллизованных шестиугольных табличек с резкими очертаниями, так и в виде их обломков. Степень окристаллизованности обломков несколько хуже, встречаются частицы со слегка размытыми контурами. Наряду с каолинитом почти всегда присутствуют гидроокислы, иногда монотермит и единичные зерна галлуазита.

Для выяснения влияния минерального состава тонкодисперсной части глин на интенсивность их пучения в горных выработках исследовались глины с пучащихся и непучащихся участков. По данным рентгеноструктурного анализа (табл. 1), а также тринадцати электронно-микроскопических анализов глин с непучащихся и пучащихся участков шахты им. Жданова № 66 и Ломинцевской № 23, основная масса тонкодисперсной части глин, как и повсеместно, представлена каолинитом. Существенно каолинитовый состав глин угленосного горизонта подтверждается и результатами исследований их химического состава. Молекулярное отношение SiO_2 и Al_2O_3 в этих глинах в большинстве случаев приближается к 2 [7], что также указывает на их каолинитовый состав. Глины обладают сравнительно невысокой обменной способностью, не превышающей 15—20 *мг/экв*. Из поглощенных катионов они содержат только $Ca^{\cdot\cdot}$ и $Mg^{\cdot\cdot}$.

Таблица 1

Минеральный состав тонкодисперсной части глин по данным рентгеноструктурного анализа[1]

Шахта	Порода	Минеральный состав, %			
		Каолинит	Иллит	Кварц	Кальцит
Им. Жданова № 66	Непучащаяся	100	—	—	—
	Пучащаяся	80	15	5	—
„Ломинцевская" № 23	Непучащаяся	100	—	—	—
	Пучащаяся	80	20	—	—
	„	95	—	—	5

[1] Анализ выполнен И. В. Михеевой.

Естественное состояние и свойства глинистых пород. Глины угленосного горизонта при естественной влажности имеют полутвердую

консистенцию. Они, как отмечено выше, жирные на ощупь, плотные, при изломе дают неровную грубую раковистую поверхность или колются по скрытым волосным трещинам, или по поверхности слоев. Разрабатываются обычно ударными инструментами и отбойными молотками. Естественная влажность глин умеренна и соответствует уплотненным породам. Средняя естественная влажность глин, вскрытых шахтами, изменяется от 18 до 22%, а скважинами на разведанных участках — от 14 до 16%.

Таблица 2

Естественная влажность глин, вскрытых шахтами

Показатели	Естественная влажность глин по группам шахт, %				
	I	II	III	I+II+III	IV
Число определений	13	20	27	82	441
Среднее арифметическое	22	18	19	20	19
Квадратическое отклонение	4,5	6,5	4,7	5,6	4,2
Медиана	23	18	20	21	19
Мода	21	18	—	21	17
Максимальное значение	29	31	27	31	28
Минимальное значение	13	11	9	9	12

Примечание. I — шахты „Бибиковская", „Смородинская" и „Каменецкая"; II — шахты им. Жданова и „Западно-Богородицкая"; III — шахты „Ломинцевская" и „Липковская"; IV — материалы исследований треста Мосбассуглегеология по 36 месторождениям.

Как видно из табл. 2 и 3, на разведанных участках влажность глин ниже, чем на вскрытых шахтами. Это объясняется тем, что в настоящее время разрабатываются месторождения, расположенные в более южных районах бассейна, где глины и связанные с ними угли залегают на глубинах 35—45 *м*.

Таблица 3

Естественная влажность глин из скважин с разведанных участков

Показатели	Естественная влажность глин по участкам, %			
	Бельцевскому	Симаковскому	Афанасьевскому	В целом по трем
Число определений	36	43	25	104
Среднее арифметическое	15	16	14	15
Квадратическое отклонение	5,2	6,1	5,8	5,8
Медиана	15	15	12	15
Мода	17	15	12	15
Максимальное значение	23	31	25	31
Минимальное значение	5	3	2	2

На разведанных участках, расположенных несколько севернее, угленосная свита залегает на глубине 70—75 *м*. Поэтому глины здесь испытывают бóльшую гравитационную нагрузку и более дегидратированы. Среднее значение коэффициента насыщения их приближается к единице (0,85—0,96). Коэффициент меньше единицы объясняется, по-видимому, частичным подсыханием образцов, а также некоторым их разуплотнением при извлечении с большой глубины.

Как следует из сравнения, влажность глин на пределе пластичности в большинстве случаев выше естественной влажности, а на пределе текучести всегда значительно выше. Следовательно, при нарушении сложения глины в большинстве случаев должны обнаруживать полутвердую или твердую консистенцию и реже тугопластичную или пластичную. Значение показателя естественной уплотненности глин Kd почти всегда больше единицы. Все это указывает на повышенную уплотненность исследуемых глин и подтверждает визуальные наблюдения.

Результаты определения плотности и пористости глин показывают, что среднее значение удельного веса глин пониженное (2,49—2,62 *г/см*³), что связано со значительной углистостью. Неоднородность состава — степень углистости глин — хорошо подтверждают и предельные значения удельного веса (2,08—2,69 *г/см*³). О повышенной уплотненности и соответственно умеренной пористости глин свидетельствуют объемный вес глин, объемный вес их скелета и пористость. Средний объемный вес глин, вскрытых шахтами, изменяется от 1,93 до 2,07 *г/см*³, а скважинами — от 2,00 до 2,07 *г/см*³. Соответственно пористость изменяется от 34 до 37% и от 29 до 32%. На разведанных месторождениях уплотненность глин выше, чем на разрабатываемых.

Прочность глин соответствует их повышенной уплотненности и умеренной естественной влажности. Среднее арифметическое значение

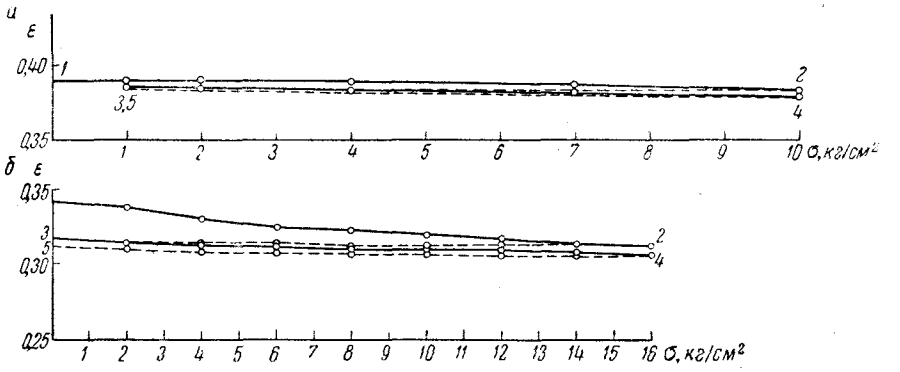


Рис. 1. Компрессионная кривая глин с петлями гистерезиса:
а — глина с шахты № 15 «Липковская»; *б* — глина с шахты № 66 им. Жданова

временного сопротивления сжатию достигает 21 *кг/см*² и изменяется от 1,5 до 50 *кг/см*². Неоднородность механической прочности глин объясняется слоистостью, скрытой трещиноватостью, различной степенью песчанистости и сажистости. Испытания глин естественного сложения и влажности на разрыв указывают на большую неоднородность их и в этом отношении. Многочисленные опыты, выполненные с образцами месторождений западного крыла бассейна, показывают, что временное сопротивление глин разрыву изменяется от 0 до 8,96 *кг/см*² [7, 8]. Учитывая умеренное значение естественной влажности глин в естественных условиях залегания, наличие скрытой трещиноватости, слоистости, прослойков угля, сажи и песка, в качестве расчетного значения сопротивления глин разрыву следует рекомендовать 0,6 *кг/см*².

Результаты испытаний глин естественной влажности на сжатие (рис. 1) свидетельствуют об их малой деформируемости. Эффективная нагрузка σ достигает 5—7 *кг/см*² и соответствует величине природной нагрузки. Коэффициент сжимаемости измеряется от 0,001 до 0,007 *см*²/*кг*. Относительная деформация в пределах нагрузок 10—16 *кг/см*² измеряется десятыми долями процента (редко превышает 1—2%). Как видно из рис. 1, кривые уплотнения и набухания почти сливаются. Следовательно, в пределах нагрузок до 10—16 *кг/см*² остаточные деформации в глинах ничтожны. Более полная оценка степени деформируемости глин естественного сложения и влажности приведена в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что средний модуль деформации глин E_0 при ориентировке нагрузки перпендикулярно слоистости достигает 1693 *кг/см*², а параллельно слоистости — 2931 *кг/см*². Различие это невелико и учитывать его при проектировании сооружений нецелесообразно. В качестве расчетного можно рекомендовать значение меньшее из средних, равное 1700 *кг/см*². Таким образом, эти данные указывают на малую

степень деформируемости глин в пределах нагрузок, не превышающих их временное сопротивление сжатию. Об этом свидетельствуют также малые значения коэффициентов поперечного расширения μ и бокового давления ξ.

Таблица 4

Характеристика упругих свойств глин

Показатели	E_0, кг/см²	μ	ξ
Нагрузка ориентирована перпендикулярно слоистости			
Число определений	189	189	189
Среднее арифметическое	1 693	0,11	0,13
Максимальное значение	20 000	0,43	0,76
Минимальное значение	17	0,0	0,0
Нагрузка ориентирована параллельно слоистости			
Число определений	71	71	71
Среднее арифметическое	2 931	0,14	0,18
Максимальное значение	20 000	0,40	0,66
Минимальное значение	34	0,0	0,0

Таблица 5

Результаты исследований глин на сдвиг при сохранении их естественного сложения и влажности

Показатели	Сдвигающее усилие при нормальных нагрузках, кг/см²		
	1	2	3
Число определений	27	27	27
Среднее арифметическое	1,80	2,15	2,46
Квадратическое отклонение	1,12	1,24	1,29
Медиана	1,40	1,80	2,50
Максимальное значение	4,00	4,80	5,25
Минимальное значение	0,40	0,60	0,80

Сопротивление сдвигу (коэффициент внутреннего трения f, угол внутреннего трения φ и сцепление C) глин естественного сложения и влажности (табл. 5, рис. 2) как у пород достаточно уплотненных повышено, но отличается большой изменчивостью. Это связано с наличием в глинах скрытой трещиноватости, прослойков сажи, угля, с неоднородной их песчанистостью и некоторой изменчивостью физического состояния.

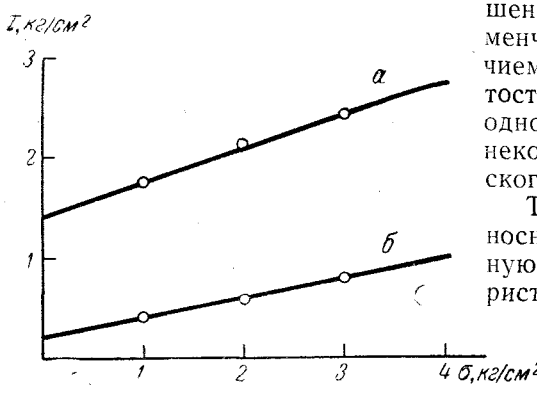


Рис. 2. Зависимость сопротивления глин сдвигу τ от нормальной нагрузки σ (по данным 27 опытов), сдвиги осуществлялись после 16 *ч* уплотнения глин естественной влажности и сложения:
а — среднее, $f = 0{,}42$; $\varphi = 23°$; $C = 1{,}4$ *кг/см²*; *б* — минимальное, $f = 0{,}18$; $\varphi = 10°$; $C = 1{,}2$ *кг/см²*

Таким образом, глины угленосного горизонта имеют умеренную естественную влажность и пористость, повышенную плотность и прочность, мало сжимаемы. Консистенция их обычно полутвердая, сопротивление сдвигу повышено. При уплотнении нагрузкой до 10—16 *кг/см²* глины обнаруживают главным образом восстанавливающиеся деформации. Остаточные деформации ничтожны. Все это дает основание считать исследуемые породы близкими к типу полускальных. Неоднородность их свойств является следствием слоистости, скрытой трещиноватости, прослоев угля, сажи и песка.

Изменение состояния и свойств пород при увлажнении. Как известно из опыта эксплуатации Подмосковного угольного бассейна, при поступлении воды в горные выработки, при пуске воды по выработкам, при их затоплении или даже при плохом проветривании и повышении влажности воздуха влажность глин повышается. В результате глины

размокают, «раскисают», становятся мягкими, набухают и резко увеличивают давление на крепи выработок, вызывая их деформацию. Как показало специальное исследование в различных горных выработках, явное изменение физического состояния глин при поступлении воды в горные выработки, как правило, обнаруживается только до глубины 5—10 *см*, максимум 20—30 *см*. Повышение же влажности глин в процессе эксплуатации горных выработок может распространиться до глубины 1—1,5 *м* и даже до 2 *м*. Это подтверждают наблюдения за изменением влажности глин в шахте № 4 «Зубовская» при повторном обследовании ее через 4,5 месяца. Факт изменения влажности глин в почве и кровле подземных выработок отмечался и ранее [7]. На участках новой проходки в шахтах Нелидовского угленосного района констатировалась средняя естественная влажность глин 17% при наиболее часто встречающихся значениях 14—17%. На участках старой проходки, подверженных пучению, примерно после 12 месяцев эксплуатации среднее значение влажности глин было 19%, а наиболее часто повторяющиеся значения 18—21%. Изменение влажности здесь распространилось на глубину примерно 85 *см*.

На одной из шахт района Щекино на участках, подверженных пучению, влажность глин составляла 19—34%, а на участках, не подверженных пучению, — всего 12—13%. По данным А. А. Алексина [1], в горных выработках района Любытино влажность глин в почве и кровле через 12—18 месяцев увеличилась с 18—20 до 31—33% на глубину до 2 *м*.

Повышение влажности глин всегда сопровождается снижением их прочности, устойчивости и набуханием. Набухание глин при впитывании ими воды — один из факторов, способствующих пучению глин в выработках. Интенсивность пучения глин зависит от глубины подрывки глин в почве выработок и степени их увлажнения. С увеличением того и другого интенсивность пучения увеличивается.

Набухание глин в лабораторных условиях исследовалось нами в обычном компрессионном приборе или специальном приборе конструкции А. М. Васильева. Данные 98 опытов показывают, что общее набухание глин может достигать почти 40%, но в большинстве случаев оно редко превышает 20%.

Кривые изменения высоты образцов (в процентах от начальной их высоты) во времени, иллюстрирующие ход процесса набухания, приведены на рис. 3. Вначале набухание, как показывают графики, протекает интенсивно. Через 3—5 *ч* от начала опыта процесс замедляется, и через 50—60 *ч* полностью стабилизируется (кривые ложатся почти горизонтально).

Влажность набухания, т. е. влажность, соответствующая моменту полной стабилизации процесса набухания глин, обнаруживает определенную связь с влажностью, соответствующей пределу их пластичности (рис. 4). Если учесть, что интенсивное набухание глин происходит только в начальный момент их увлажнения, предел пластичности вполне можно считать показателем качественной оценки склонности глин к набуханию. Если естественная влажность глин выше предела пластичности, нет оснований ожидать значительного их набухания. Чем меньше в составе глин песчаных фракций и больше пылеватых, тем они сильнее набухают.

По данным 27 испытаний глин в компрессионном приборе оказалось, что для предупреждения их набухания средняя сдерживающая нагрузка (сила набухания) достигает, *кг/см²*:

Средняя арифметическая	4,7
Мода	3,0—5,0
Максимальная	13,0
Минимальная	0,3

ЛГИ

При набухании сильно ослабевает прочность структурных связей глин, поэтому резко увеличивается их деформируемость. Как видно на рис. 5, *а*, значительная сжимаемость глин произошла в результате

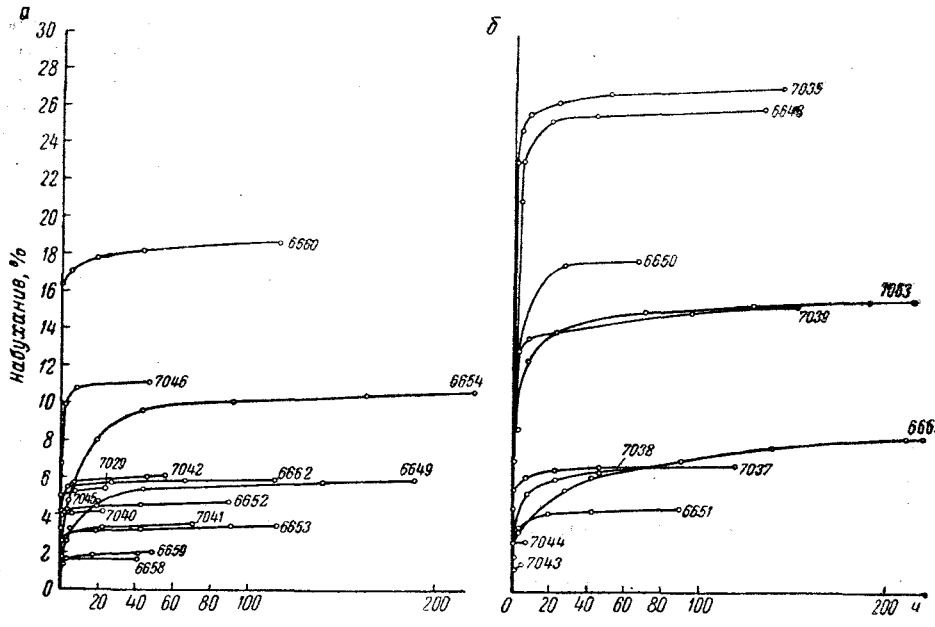


Рис. 3. Кривые набухания глин:
а — месторождений Глубоковского и Ломинцевского; *б* — месторождений Богородицкого, Зубковского, Бибиковского и Паплевинского

их предварительного разуплотнения и набухания при свободном доступе влаги. Глины приобрели остаточные деформации явно структурного характера. После разгрузки (рис. 5, *б*) набухание глин происходит быстро и достигает сравнительно большой величины. Если

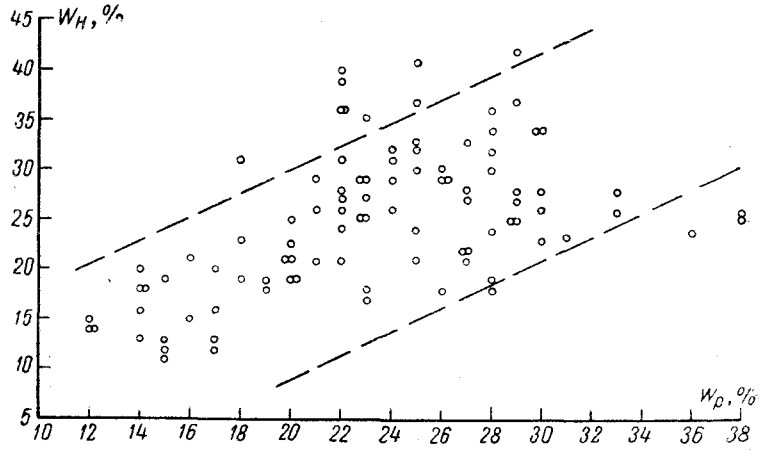


Рис. 4. Зависимость влажности набухания глин $W_н$ от влажности, соответствующей их пределу пластичности $W_р$

после такого набухания глины вновь подвергнуть уплотнению, естественно, деформируемость их будет значительной. Как видно из рис. 6, где приведены результаты испытаний глин коническим пластометром по методу П. Н. Ребиндера, условное сопротивление глин сдвигу после

набухания снижается в десятки, а иногда и сотни раз и в целом характеризует резкое снижение их прочности. Из сопоставления данных табл. 5, 6 и рис. 2 и 7 видно, что после изменения естественного состояния при увлажнении и набухании глины резко изменяют сопротивление сдвигу. Наступает почти полное расслабление — релаксация сил

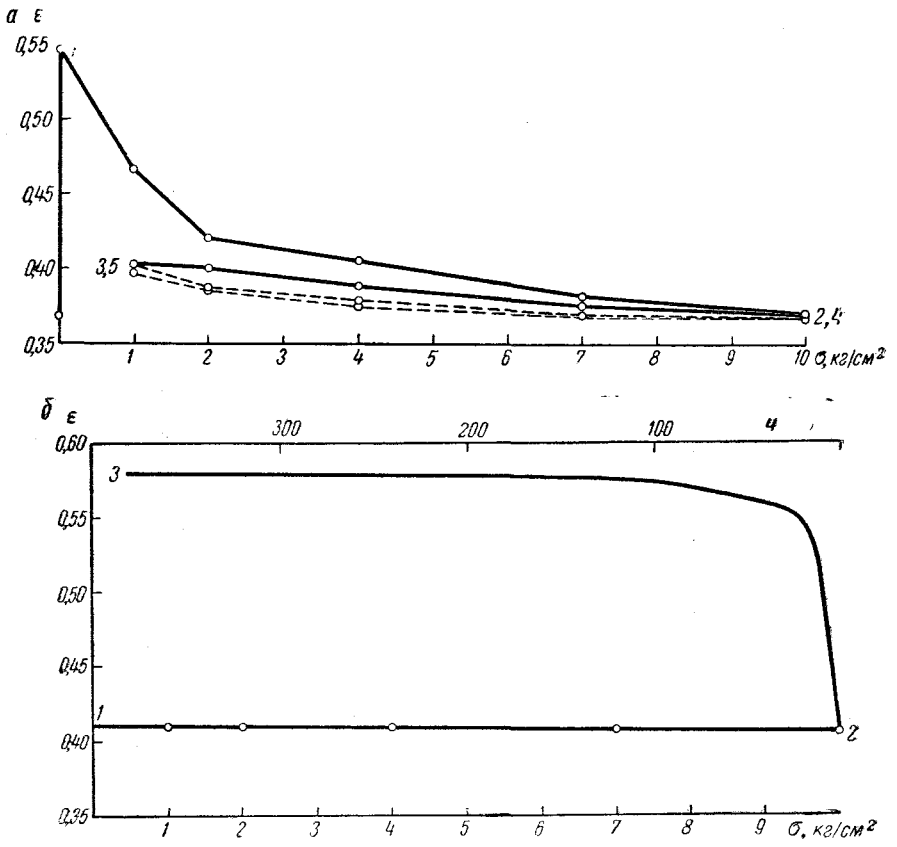


Рис. 5. Компрессионные кривые глин:
а — после предварительного свободного набухания; *б* — после уплотнения глин естественного сложения и влажности

сцепления (рис. 8). Естественно, это вызывает снижение устойчивости и повышение деформируемости глин.

Таблица 6

Результаты исследований глин на сдвиг после свободного набухания

Показатели	Сдвигающие усилия при нормальных нагрузках, *кг/см²*				
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Число определений	23	64	25	41	33
Среднее арифметическое	0,35	0,67	0,66	1,18	1,46
Квадратическое отклонение	0,20	0,41	0,37	0,64	0,74
Медиана	0,40	0,65	0,75	1,20	1,35
Максимальное значение	0,75	2,70	1,35	3,40	3,90
Минимальное значение	0,05	0,05	0,15	0,10	0,15

Итак, пластичные глины угленосного горизонта Подмосковного бассейна не водоустойчивы. При увлажнении они сравнительно легко размокают — «раскисают», становятся мягкими, набухают и обнару-

живают резкое снижение прочности и устойчивости. Деформируемость их резко увеличивается и сопровождается появлением остаточных (пластических) деформаций структурного характера.

Природа явлений пучения глинистых пород в горных выработках. При оценке природы пучения глин в горных выработках необходимо учесть следующие факторы. Глины угленосного горизонта имеют существенно каолинитовый состав тонкодисперсной части, малую поглотительную способность и слабую коллоидную активность. Это не позволяет считать породы пучащимися. С другой стороны, высокая пылеватость глин, как и всех пылеватых пород, предопределяет их склонность к снижению внутреннего трения и сцепления при увлажнении и повышении подвижности. Следовательно, вещественный состав глин соответствует породам, склонным к изменению состояния подвижности при увлажнении, а не пучащимся породам. При увлажнении в горных выработках у глин легко разрушаются структурные связи и они теряют прочность и устойчивость.

В условиях естественного залегания глины имеют высокую плотность, умеренную влажность и ведут себя как породы полутвердые и твердые. В сухих или осушенных выработках они, как правило, устойчивы и существенных деформаций в них в большинстве случаев

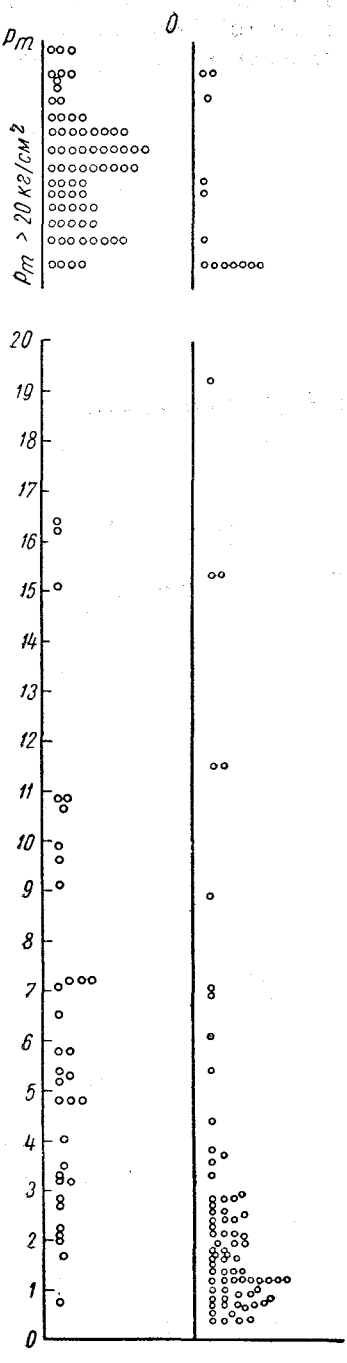


Рис. 6. Распределение значений условного сопротивления сдвигу глин P_m естественного сложения и влажности (*а*) и глин после свободного набухания (*б*)

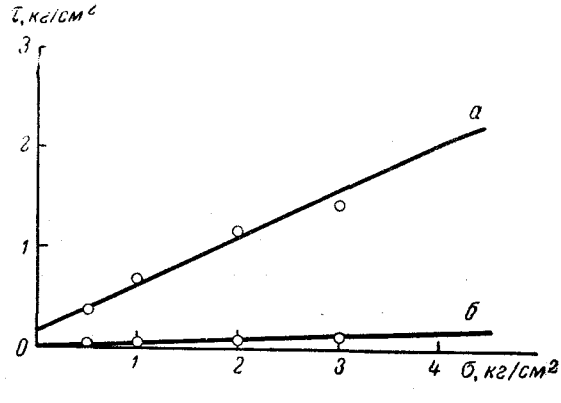


Рис. 7. Зависимость сопротивления глин сдвигу от нормальной нагрузки по данным многочисленных опытов:

а — для глин естественного сложения и влажности ($f=0{,}53$; $\varphi=23°$; $C=0{,}5$ кг/см²); *б* — для глин после свободного набухания ($f=0{,}05$; $\varphi=3°$; $C=0$)

не происходит. При пуске воды по выработкам или при их затоплении положение изменяется: начинается пучение — поддувание почвы, де-

формация крепи и через некоторое время выработки оказываются сдавленными. Как показывают наблюдения, деформации связаны с нару-

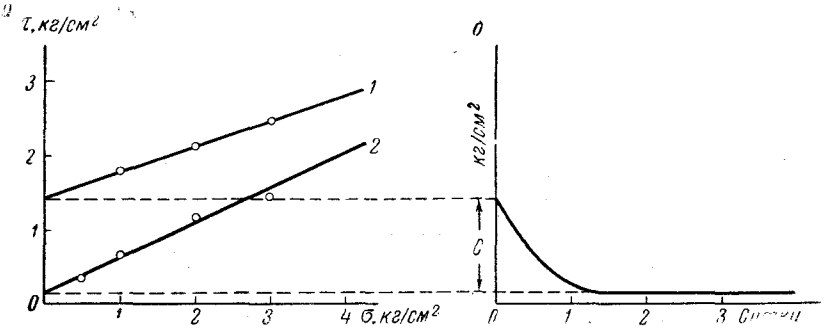


Рис. 8. Сопротивление глин сдвигу после свободного набухания (*а*) и кривая релаксации сил сцепления (*б*)

1 — глины естественного сложения и влажности; *2* — глины после свободного набухания

шением устойчивости и прочности глин и выжиманием их со стороны боков и почвы внутрь выработки. В результате вертикальные стойки крепи на уровне почвы всегда сдавлены, наклон их изменен в обратную сторону, а иногда они сломаны. В глинах же появляется слоистость течения.

Такой характер деформаций выработок показывает, что пучение глин в горных выработках есть результат не простого набухания, а результат выжимания глин внутрь выработок действием горного давления. Собственно же набухание при этом усиливает общий процесс пучения. Подтверждением такого вывода может служить тот факт, что объем поддутой породы, поступающей в выработки, несравненно больше объема, который мог бы поступить в выработки только при набухании глин. Заметим, что нарушения кровли выработок всегда меньше деформаций почвы, так как условия для увлажнения глин кровли неблагоприятны.

Чтобы окончательно убедиться в правильности сложившихся представлений о природе явлений пучения глинистых пород в горных выработках Подмосковного бассейна, выполнено несколько опытов. Моделировались горные выработки, в почве которых располагался слой глин при плотности, близкой к естественной. Затем повышалась величина опорного давления на глины и велись наблюдения за деформациями глин в почве.

На рис. 9 и 10 показан ход повышения давления в основании опорных целиков и развитие деформаций глин в почве моделируемой выработки. При давлении до 7,2 *кг/см²* небольшие деформации глин носят плавный характер, без признаков угрожающих пластических течений. При давлении 7,2 *кг/см²* интенсивность деформаций возрастает, через

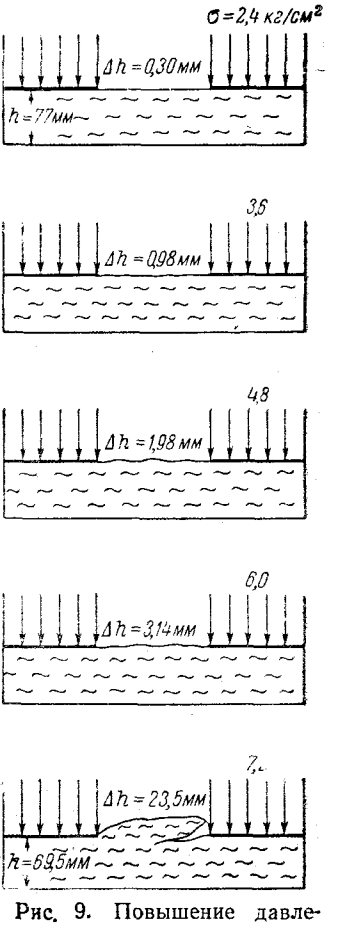


Рис. 9. Повышение давления в основании опорных целиков (штампов) и развитие деформации глин в «почве» моделируемой выработки. Опыт I

45 *мин* от начала приложения этого давления образуются трещины, отделяется блок выпирающихся пород, после чего выжимание пород уси-

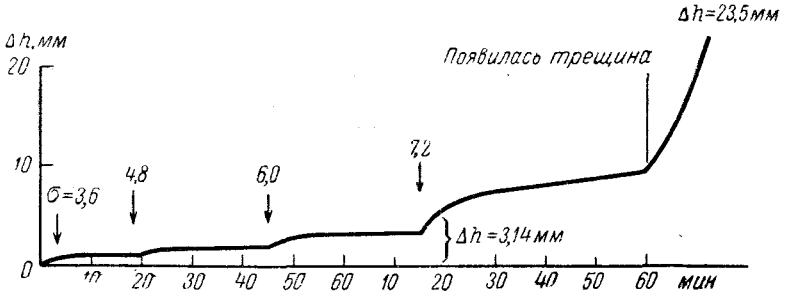


Рис. 10. Развитие деформаций глин в «почве» моделируемой выработки. Опыт I

ливается. В результате объем выжатой породы составил примерно 383 *см*³, а мощность слоя глин под опорными целиками уменьшилась на 320 *см*³.

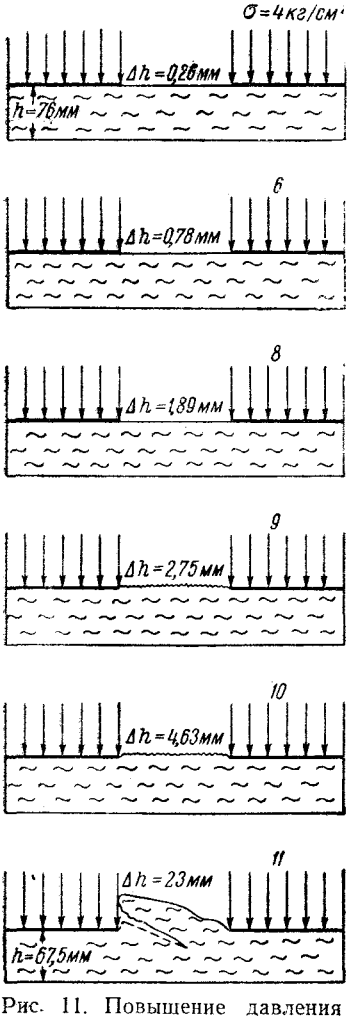


Рис. 11. Повышение давления в основании опорных целиков (штампов) и развитие деформаций глин в «почве» моделируемой выработки. Опыт II

Из анализа результатов выполненного опыта видно, что глины при плотности 1,92 *г/см*³ и влажности 27% в почве моделируемой выработки находятся в сравнительно устойчивом состоянии при давлении в основании целиков до 7,2 *кг/см*². При давлении 7,2 *кг/см*² внутренняя структурная прочность глин нарушается, развиваются пластические деформации и происходит интенсивное вжимание глин внутрь выработки.

Во втором опыте (рис. 11 и 12) плотность глин в почве моделируемой выработки увеличивалась до 1,99 *г/см*³, а влажность уменьшалась до 25%. В этом случае плавные безопасные деформации нарушались только при достижении опорного давления 11 *кг/см*². При этом объем выжатой породы оказался равным примерно 511 *см*³, а уменьшение объема глин в основании опорных целиков 362 *см*³. Таким образом, даже небольшое повышение плотности и уменьшение влажности глин значительно повышают устойчивость горных выработок. Любопытно, что при давлении в основании опорных целиков, равном 14 *кг/см*², давление со стороны почвы моделируемой выработки достигло 2 *кг/см*². Следовательно, коэффициент бокового давления в глинах равен 0,14, т. е. той же величине, которая определялась при испытании кубиков (см. табл. 4)

В третьем опыте (рис. 13, 14) глины в почве моделируемой выработки имели плотность и влажность те же, что во втором опыте. При повышении опорного давления до 8 *кг/см*², т. е. до величины, равной примерно природной, глины находятся в устойчивом состоянии, деформации их в почве

моделируемой выработки невелики и безопасны. Затем, не изменяя величины опорного давления, на глины подавалась вода. По мере впиты-

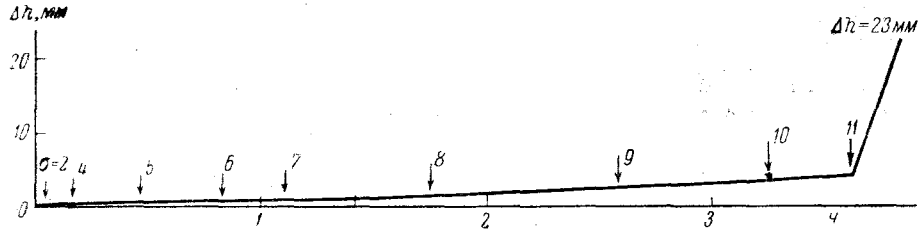


Рис. 12. Развитие деформаций глин в «почве» моделируемой выработки. Опыт II

вания воды (см. рис. 14) деформации глин непрерывно возрастали и через трое суток наступило полное разрушение внутренних связей глин и резкое вжимание их в выработку. Объем выжатой породы равен

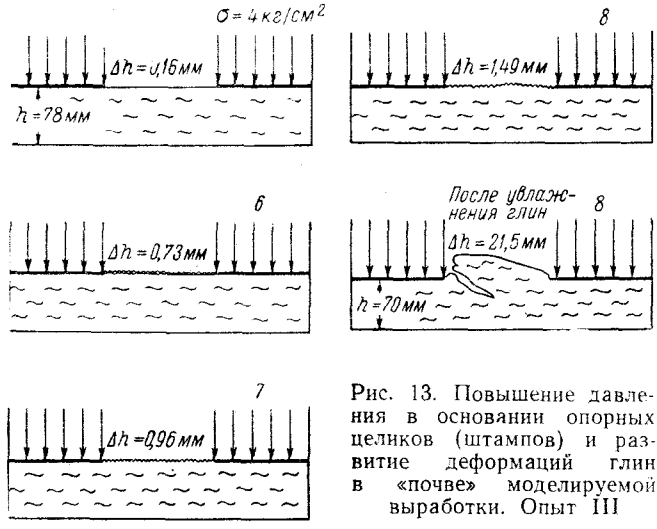


Рис. 13. Повышение давления в основании опорных целиков (штампов) и развитие деформаций глин в «почве» моделируемой выработки. Опыт III

309 $см^3$, а уменьшение объема глин в основании опорных целиков достигло 362 $см^3$, т. е. изменение объемов почти одинаково во всех трех опытах.

Третий опыт точно воспроизводит динамику естественного процесса в горных выработках. Следовательно, пучение глин в горных выработ-

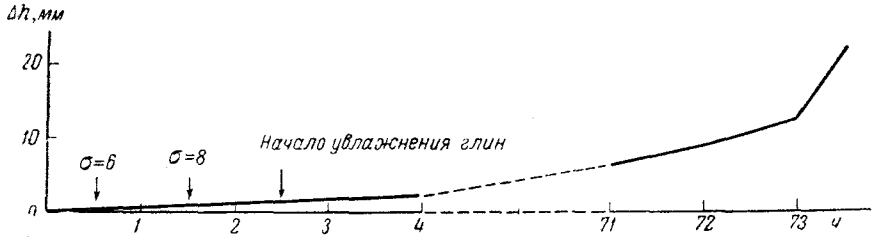


Рис. 14. Развитие деформаций глин в «почве» моделируемой выработки. Опыт III

ках в основном связано не со способностью их набухать, а главным образом со свойством изменять при увлажнении свое состояние, терять устойчивость и прочность и вжиматься внутрь выработок под действием горного давления. Набухание же усиливает этот процесс и тем значительнее, чем больше выработка врезана в глины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексин А. А. Влияние набухания глин на устойчивость горных выработок. «Огнеупоры», 1946, № 4—5.
2. Викулова М. Ф. Глины огнеупорные. Неметаллические ископаемые СССР, т. 4. Изд-во АН СССР, 1941.
3. Викулова М. Ф. Возрастное и палеогеографическое значение минералогического состава коллоидной фракции глин палеозоя и четвертичных отложений, развитых на территории Ленинградской и Новгородской областей. Уч. записки ЛГУ. Серия геолого-почв. наук, 1949, вып. 17.
4. Викулова М. Ф. Применение электронного микроскопа для изучения строения и состава тонкодисперсных пород и минералов. Тр. ВСЕГЕИ, 1950, сб. 2.
5. Зхус И. Д. Результаты окрашивания и электронномикроскопического изучения глинистых минералов карбона юго-западного Подмосковья. ДАН СССР, 1954, т. XCVI, № 4.
6. Коссовская Н. Г. О распределении каолиновых и монотермитовых глин в нижнекаменноугольных отложениях Подмосковного бассейна. Бюлл. Моск. об-ва испытателей природы, 1949, т. XXIV, вып. 1.
7. Ломтадзе В. Д. Физико-механические свойства глин угленосной свиты нижнего карбона Подмосковного бассейна. Записки ЛГИ, 1952, т. XXVI, вып. 2.
8. Морозов А. И. Прогноз прорывов воды из почвы горных выработок. Записки ЛГИ, 1952, т. XXVI, вып. 2.