УДК 624.131.1

Э.И.ТКАЧУК
Южно-Российский государственный технический университет

РАЗВИТИЕ УЧЕНИЯ В.Д.ЛОМТАДЗЕ О ФОРМИРОВАНИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД В ПРОЦЕССЕ ЛИТИФИКАЦИИ

Исследования процессов изменения физико-механических свойств глинистых пород, начатые В.Д.Ломтадзе еще в 1955-1956 гг., дали мощный толчок развитию проблемы. Многочисленные работы В.Д.Ломтадзе, его учеников и последователей подтвердили существование нескольких этапов литификации, а использование системного анализа позволило обосновать их количественные границы.

The paper is devoted to the studies of processes of modification of physical-mechanical properties of clayey rock which were started in 1955-1956 by V.D.Lomtadze. These investigations gave a powerful incentive to the development of a problem of forming the properties mentioned above. Numerous works of V.D.Lomtadze, his pupils and followers corroborated the existence of several stages of lithification. At the same time the use of systematic analysis made it possible to prove quantitative boundaries of these stages.

Формирование физико-механических свойств глинистых пород в процессе их литификации представляет собой ставший классическим раздел инженерной петрологии, вошедший во многие учебники и учебные пособия России.

Первая работа, посвященная этим вопросам, опубликована В.Д.Ломтадзе в 1955 г. В этой работе Валерий Давидович выделил основные группы глинистых пород, последовательно формирующиеся при литификации (илы; глины мягкие, глины уплотненные, аргиллиты, аргиллиты сланцеватые), охарактеризовал основные диагенетические и эпигенетические процессы формирования состава, состояния и свойств выделенных групп, привел наиболее характерные значения их влажности, плотности, пористости, консистенции и проиллюстрировал изученный процесс хорошо известной логически стройной графической схемой.

В 1956-1976 гг. Валерий Давидович значительно расширил теоретическое обоснование закономерностей формирования состава, строения, состояния и свойств пород в процессе их литификации путем обобщения результатов специальных экспериментов и исследований глинистых отложений различного происхождения и возраста, залегающих на различных глубинах и структурно-тектонических условиях и слагающих основания многих инженерных объектов инженерно-геологических регионов, областей и районов бывшего СССР.

Валерий Давидович подробно исследовал окислительно-восстановительную обстановку, обменно-адсорбционные и другие процессы изменения минерального, химического и механического состава глинистых отложений при диагенезе и катагенезе, количественно охарактеризовал роль глубины залегания пород, их происхождения и возраста, гидрогеологических особенностей, структурно-тектонической обстановки и ряда других факторов в формировании состава, строения, состояния и свойств глинистых пород.

Проведенные исследования позволили Валерию Давидовичу разработать новую инженерно-геологическую классификацию горных (в том числе глинистых) пород. В частности, глинистые породы разделены по степени их литификации на пять групп (предельно малой, малой, средней, высокой

и предельно высокой степени литификации), которые подробно охарактеризованы важнейшими классификационными признаками, особенностями состава, строения, состояния и наиболее вероятными значениями показателей физико-механических свойств.

После защиты докторской диссертации на тему «Формирование физико-механических свойств глинистых пород при литификации» идеи Валерия Давидовича были подхвачены и получили дальнейшее развитие в работах Ф.С.Алиева (1959, 1975), Г.К.Бондарика (1976), В.М.Воскобойникова (1980), И.М.Горьковой (1959, 1966), Р.С.Зиангирова (1970), Е.Н.Коломенского (1980), Е.Г.Коникова (1980, 1994), В.Ф.Котлова (1976, 1979), Г.Л.Коффа (1973), И.Г.Коробановой (1970, 1983), А.М.Монюшко (1962, 1985), В.И.Осипова (1976, 1979), А.С.Полякова (1976, 1979), Т.Г.Рященко (1984), В.И.Савельева (1965), Е.М.Сергеева (1971, 1978), А.Б.Шпикова (1980) и других исследователей. При этом большую роль сыграли комплексные исследования минерального, химического, механического состава, состава поровых вод, поглощенных катионов, физико-механических свойств, состояния и иных особенностей глинистых пород Бакинского архипелага [2], результаты геологического и инженерно-геологического изучения илов Черного (А.Е.Бабинец, А.Ю.Митропольский, С.П.Ольштынский, 1973; В.А.Емельянов, 1977), Каспийского (А.С.Поляков, 1970) и Азовского морей (С.И.Скиба, 1978), Индийского океана (Г.А.Белявский, 1977, 1979), глинистых отложений шельфа северо-западных морей бывшего СССР (А.Е.Рыбалко, П.Е.Москаленко, М.С.Захаров, 1988), многих других объектов [3]. Существенный вклад в познание законов формирования свойств глинистых отложений внесли исследования их строения (Г.К.Бондарик, А.М.Царева, В.В.Пономарева, 1975; В.И.Осипов, В.Н.Соколов, Н.А.Румянцева, 1989), структурных связей (В.Н.Соколов, 1973; В.И.Осипов, 1978) и других особенностей, включая контактные взаимодействия глинистых частиц (Л.И.Кульчицкий, О.Г.Усьяров, 1981). Некоторые полученные при этом результаты отражены в трудах международных, всесоюзных, республиканских научных форумов и являлись предметом обсуждения на тематических научных конференциях [1] и семинарах.

В результате определены основные этапы формирования глинистых пород, вскрыты важнейшие закономерности изменения их состава, строения, состояния и свойств в процессе литификации, выявлены особенности влияния многочисленных характеристик состава и физических показателей на прочностные, деформационные и фильтрационные свойства, решен ряд других задач. Это в целом позволило объяснить природу структурных связей глинистых пород, их прочности, деформируемости, проницаемости и создать основы общей теории формирования свойств дисперсных отложений в процессе их образования и последующего геологического развития (В.Д.Ломтадзе, 1970, 1976, 1984; Е.М.Сергеев, Г.А.Голодковская, Р.С.Зиангиров, В.И.Осипов, В.Т.Трофимов, 1971, 1983).

Дальнейшее развитие проблемы формирования физико-механических свойств глинистых пород связано с исследованием их как сложных развивающихся динамических природных систем, важнейшей характеристикой которых являются взаимосвязи свойств. Изучение последних для системных объектов дает результаты, в научном и практическом отношениях гораздо более значимые, чем простое описание свойств объектов (И.В.Блауберг, В.Н.Садовский, Э.Г.Юдин, 1970). Отмеченное обстоятельство имеет особое значение при изучении формирования свойств в процессе литификации глинистых пород: для основных этапов этого формирования, представляющих собой качественно различные состояния пород, неизбежны различия не только обобщенных значений показателей состава и свойств, но также структуры (характера, тесноты, формы, параметров) их взаимосвязей или, иными словами, неизбежны различия поведения свойств под влиянием естественных и искусственных факторов (Э.И.Ткачук, 1983).

Однако системный анализ свойств горных пород – задача значительно более

сложная, чем изучение самих свойств, так как с увеличением числа изучаемых показателей количество связей между ними растет лавинообразно. Кроме того, поставленная задача заключается не только в изучении взаимосвязей свойств, но (и это главное) – в исследовании закономерностей изменения параметров этих взаимосвязей в процессе литификации. Для этого необходимо было выявить глубоко закодированные природой количественные критерии тех качественных преобразований, которые происходят в процессе формирования, последующего геологического развития и современного существования горных пород. При этом алгоритм решения такой задачи представлял собой «terra incognita»: несмотря на единодушное мнение исследователей о необходимости системного анализа в инженерной геологии, работы, характеризующие методику его применения, отсутствуют. Несмотря на многочисленные отечественные и зарубежные исследования взаимосвязей свойств горных пород, лишь в одной работе (О.В.Боровик, 1975) некоторые параметры этих взаимосвязей предлагается рассматривать в качестве возможных количественных критериев условий образования и степени литификации глинистых отложений. Поэтому разработка поставленной проблемы потребовала большого объема экспериментальных данных, длительных исследований, использования быстродействующих ЭВМ и компьютеров, совершенствования методов изучения взаимосвязей свойств, разработки необходимого программного обеспечения и решения ряда методических задач (Э.И.Ткачук, 1975, 1984).

В результате исследований установлено, что наиболее чутким индикатором процесса и степени литификации являются параметры зависимостей физических свойств от показателей состава глинистых пород (Э.И.Ткачук, 1985). Достаточно надежно при этом использование полей корреляции коэффициента пористости e и границы текучести W_L: глинистые отложения различной степени литификации хорошо фиксируются на таких полях в форме обособленных (при малых значениях W_L – размытых) эллипсов корреляции. Контуры этих эллипсов (равновесных состояний глинистых пород как развивающихся систем) характеризуются существенным (зачастую резким) снижением плотности вероятностей условных частных значений e, представляют собой объективные (сформированные в процессе литогенеза) границы основных этапов литификации и зафиксированы на многих объектах (Э.И.Ткачук, 1983-1998).

Полученные границы, приведенные в таблице, хорошо коррелируют с основными типами структурных связей (стадиями, зонами, этапами литогенеза) и позволяют идентифицировать степень литификации глинистых отложений различного состава, происхождения и возраста.

Как следует из таблицы, стадия сингенеза представлена одной основной зоной предельно малой степени литификации (равновесное состояние 0), стадия диагенеза проходит в два этапа – раннего и позднего диагенеза (состояния I и Ia малой степени литификации), стадия катагенеза включает 3 зоны – слабого, среднего и сильного ката-

Количественные границы основных равновесных состояний, стадий, зон, этапов литогенеза и степени литификации глинистых пород

Равновесные состояния	Нижние границы коэффициента пористости e	Стадии литогенеза	Степень литификации по В.Д.Ломтадзе	Тип структурных связей по В.И.Осипову
0	$e \approx 4{,}2W_L$	Сингенез	Предельно малая	Дальний коагуляционный
I	$e = 2{,}5W_L^{0{,}9}$	Диагенез	Малая	Дальний коагуляционный
Ia	$e = 1{,}85W_L^{0{,}8}$	Диагенез	Малая	Ближний коагуляционный
II	$e = 1{,}25W_L^{0{,}7}$	Катагенез	Средняя	Ближний коагуляционный
III	$e = 0{,}8W_L^{0{,}6}$	Катагенез	Средняя	Переходный
IV	$e \approx 0{,}4W_L^{0{,}5}$	Катагенез	Высокая	Переходный
V	$e \approx 0{,}18$	Метагенез	Высокая	Фазовый
VI	. . .	Метаморфизм	Предельно высокая	Фазовый

генеза (состояния II-IV средней и высокой степени литификации). Последние сменяются стадиями метагенеза и метаморфизма (полускальные и скальные породы соответственно). В процессе гипергенеза происходит разуплотнение глинистых пород, которое обычно завершается формированием состояния Ia.

Необходимо отметить, что в процессе литификации формируются и изменяются не только традиционно используемые обобщенные показатели свойств, но также количественные характеристики других параметров их распределения (стандартов, коэффициентов вариации, значений асимметрии, эксцесса) и поведения (коэффициентов корреляции, коэффициентов регрессии и т.п.), в том числе параметры уравнений регрессии показателей прочностных, деформационных и фильтрационных свойств глинистых пород по их физическим характеристикам. Это обстоятельство создает необходимые и достаточные предпосылки решения одной из важнейших практических задач инженерной петрологии – прогноза прочности, деформируемости и водопроницаемости горных, в частности, глинистых пород (В.Д.Ломтадзе, 1984).

ЛИТЕРАТУРА

1. Инженерно-геологические свойства пород и вопросы литотогенеза / Под ред. И.В.Попова. М.: Наука, 1956. 124 с.

2. Постседиментационные изменения четвертичных и плиоценовых глинистых отложений Бакинского архипелага / Под ред. Н.М.Страхова. М.: Наука, 1965. 250 с.

3. Тезисы докладов Международного симпозиума «Инженерная геология шельфа и континентального склона морей и океанов мира». Тбилиси: Мицниереба, 1988. 206 с.