

И: 85-4/404-0

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА

Геологический факультет
Кафедра грунтоведения и инженерной геологии

На правах рукописи
УДК 624.131.

КОЛОМИЙЦЕВ НИКОЛАЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АТЕЛЬСКИХ ПОРОД ПРИКАСПИЙСКОЙ
ВПАДИНЫ И ИХ ИНЖЕНЕРНО - ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Специальность 04.00.07
Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
академик АН СССР
Е.М.СЕРГЕЕВ

Москва - 1985

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА I. ИСТОРИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ АТЕЛЬСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ	7
ГЛАВА 2. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ	25
2.1. Геологическая история и палеогеографические условия бакинського и хазарского веков	25
2.1.1. Бакинский век	25
2.1.2. Хазарский век	27
2.2. Геологическая история и палеогеографические условия ательского и хвалынского веков.	35
2.2.1. Ательский век	35
2.2.2. Хвалынский век	78
2.3. Современные физико-географические условия существования ательских пород	94
2.3.1. Климат.	94
2.3.2. Рельеф.	96
ГЛАВА 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АТЕЛЬСКИХ ПОРОД	100
3.1. Гранулометрический и микроагрегатный составы.	100
3.2. Химико-минеральный состав	106
3.2.1. Минеральный состав.	106
3.2.2. Химический состав	115
3.3. Физические свойства	127

3.3.1.	Плотность твердых частиц . . . . .	.I27
3.3.2.	Плотность влажного грунта . . . . .	.I27
3.3.3.	Плотность скелета грунта и пористость . . . . .	.I30
3.4.	Естественная влажность, пластичность и виды воды . . . . .	.I33
3.5.	Структурно-текстурные особенности . . . . .	.I41
3.6.	Просадочность . . . . .	.I60
ГЛАВА 4.	РОЛЬ ПРОЦЕССОВ УВЛАЖНЕНИЯ-ВЫСУШИВАНИЯ (НАБУХАНИЯ-УСАДКИ) И ПРОМЕРЗАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОСАДОЧНОСТИ АТЕЛЬСКИХ ЛЕССОВЫХ ПОРОД . . . . .	.I72
ГЛАВА 5.	ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСАДОЧНОСТИ АТЕЛЬСКИХ ЛЕССОВЫХ ПОРОД . . . . .	.201
5.1.	Анализ существующих точек зрения на условие формирования просадочности ательских лессовых пород . . . . .	.201
5.2.	Ательский и послехвалынский континентальный гипергенез, как основной фактор формирования просадочности ательских лессовых пород . . . . .	.205
ВЫВОДЫ		209
ЛИТЕРАТУРА		211

В В Е Д Е Н И Е

Актуальность работы. Ательские отложения в пределах исследуемой территории широко распространены и представлены комплексом лессовых пород, обладающих просадочными свойствами и залегающими под отложениями раннехвалынского морского бассейна. Это редкий и, возможно, единственный случай, когда лессовые породы находятся под толщей морских отложений. Лессовые породы ательского возраста являются основаниями и вмещающей средой для различных гражданских и промышленных сооружений. Актуальность проблемы (выявление причин и факторов, обусловивших особенности состава, строения и свойств ательских отложений) определена требованиями надежности инженерно-геологического обоснования проектов различных сооружений на просадочных грунтах. Установление определенных закономерностей будет являться основой к поиску путей сокращения объемов и сроков исследований при инженерно-геологических изысканиях. Следует отметить, что многие вопросы инженерно-геологического изучения ательских пород недостаточно разработаны. К ним, прежде всего, относится вопрос о формировании просадочности ательских лессовых пород. Практически нет данных о комплексном изучении с генетической точки зрения особенностей формирования состава, строения и свойств ательских отложений.

Целью работы являлось изучение закономерностей формирования просадочности ательских лессовых пород Прикаспийской впадины в связи с широким использованием их в качестве оснований, материала и геологической среды инженерных сооружений.

Основные задачи исследования заключались:

I. в изучении геологических, гидрогеологических и палеогеографических условий накопления и существования ательских

отложений;

2. в выяснении и уточнении особенностей состава, строения и свойств ательских отложений;

3. в выяснении роли гипергенных процессов (увлажнения-высушивания и промерзания-оттаивания) в формировании просадочности ательских лессовых пород.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые дана комплексная оценка инженерно-геологических характеристик ательских пород Прикаспийской впадины на геолого-генетической основе, установлена роль гипергенных процессов в формировании просадочности ательских лессовых пород.

Практическая значимость работы заключается в том, что комплексная оценка факторов, определяющих инженерно-геологические особенности ательских пород, направлена на повышение надежности инженерно-геологических обоснований возведения и эксплуатации сооружений. Применение комплексного генетического подхода к изучению ательских отложений, выявление роли и направленности гипергенных процессов в преобразовании их свойств облегчит разработку рекомендаций по рациональному использованию этих пород в качестве строительного материала и оснований инженерных сооружений.

Апробация работы. Основные положения и выводы диссертационной работы были доложены на X и XI научных конференциях Молодых ученых Геологического факультета МГУ (Москва, 1983, 1984 гг.), на конференции "Генезис просадочности лессов" (МОИП, 1985 г.) и на секции инженерной геологии МОИП (1985 г.). По теме диссертационной работы опубликовано три статьи.

Защищаемые положения:

1. Установлены и охарактеризованы основные стадии формирования инженерно-геологического облика ательских лессовых пород от момента отложения до настоящего времени. Каждая из стадий характеризуется резко различными условиями существования ательских отложений.

2. Установлены и математически описаны закономерности изменения просадочных и других свойств в зависимости от коэффициента водонасыщения и периодического увлажнения-высушивания.

3. Подтверждена решающая роль постгенетических процессов, главным образом периодического увлажнения-высушивания и промерзания-оттаивания, на формирование просадочности ательских лессовых пород.

4. Выделены и охарактеризованы два типа разрезов ательских пород, отличающихся геологическим строением, особенностями гипергенных преобразований и физико-механическими свойствами.

В основу настоящей работы положены материалы полевых и лабораторных работ, проведенных автором в 1980 - 1984 гг., основные работы выполнены в период обучения в очной аспирантуре на кафедре грунтоведения и инженерной геологии Геологического факультета МГУ. В работе использованы архивные материалы НВ ТИСИЗа (г.Волгоград), ПО "Союзгеолфонд" (г.Москва).

Работа выполнена под научным руководством академика АН СССР Е.М.Сергеева, которому автор выражает глубокую благодарность за постоянную помощь и советы. В процессе подготовки работы автор пользовался постоянными научными консультациями с.н.с. А.В.Минервина и ассистента Н.Н.Комиссаровой, которым выражает свою искреннюю признательность. Искреннюю признательность автор приносит также старшим научным сотрудникам В.Г.Шлы-

кову, Е.Н. Коломенскому и В.Н. Соколову, младшим научным сотрудниками Н.А. Ларионовой и С.Н. Емельянову за практическую помощь, оказанную при выполнении данной работы.

ГЛАВА I. ИСТОРИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ АТЕЛЬСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ

Долгое время, в течение нескольких десятилетий (в 1903 - 1932 гг.), в Нижнем Поволжье и Прикаспии геологию плейстоцена изучал выдающийся исследователь П.А. Православлев. Он впервые подробно описал все имеющиеся обнажения четвертичных отложений в Нижнем Поволжье, на Узеньях, Урале, в районе озер Эльтон, Баскунчак, Челкар и др. /128, 129, 130 и др./ и заложил основы стратиграфического подразделения плейстоцена, которыми в несколько измененном виде пользуются до сих пор.

П.А. Православлев выделил ательские отложения между хвалынскими и хазарскими осадками /130, 131, 132/. Условия залегания ательских отложений, состав, строение и сопоставление со сходными образованиями, обрамляющими Северный Прикаспий, но не перекрытыми морскими осадками позволил П.А. Православлеву предположить их субаэральное происхождение, опираясь на господствовавшую тогда "гипотезу происхождения лесса юга России г. Тутковского, или лучше Рихтгофена-Тутковского" /128, стр. 427/. В то же время П.А. Православлев указал, что в строгом смысле вопрос о происхождении этих лессовидных суглинков остается открытым. Относительно малая мощность лессовидных суглинков в Нижнем Поволжье "по сравнению с лессовидным покровом юга России" указывает, "что параллелизовать его нужно не со всей толщей теперешнего лессовидного покрова юга России, а лишь с определенным

горизонтом такового" /128, стр. 428-429/. Изучая плейстоценовые отложения по реке Урал в 1913г., П.А.Православлев отметил характерную особенность: практически во всех разрезах, как и в Нижнем Поволжье времени отложения шоколадных сланцевых глин предшествовало накопление лессовидных суглинков и супесей /129, стр.616/. При работе в долине рек Большого и Малого Узенья П.А.Православлев (1917 - 1918гг.) выделил эти лессовидные суглинки в самостоятельную ательскую свиту (Атель - одно из древних названий реки Волги). Результаты гидрогеологического и геологического изучения были доложены П.А.Православлевым на заседании Отделения Геологии и Минералогии Петроградского общества естествоиспытателей в мае 1917 года /131, стр.125/. Введение термина "ательский ярус" и обоснование критериев его выделения впервые было сделано П.А.Православлевым несколько позднее в 1918г. /130, стр.1844/. Здесь же П.А.Православлев высказал предположение о том, что ательские наземные образования, отлагавшиеся в условиях господства "полусухого, быть может степного климата" /130, стр. 1846-1847/, полностью укладываются в рамки Вюрм-Рисской межледниковой эпохи, а перекрывающие их хвалынские отложения сопоставляет по времени с Вюрмским оледенением Альп /130, стр.1850/. Но наиболее полно и ясно П.А.Православлев изложил свои взгляды в 1932г. в "Предисловии" к статье Веры Громовой /132/, где поместил ательскую свиту между хвалынским и хазарским ярусами.

"Свита наземных субэаральных образований, местами со следами от разложившихся травянистых и других растений, иногда с прослойками наземных и пресноводных раковин *Succinea*, *Limpaenis*, *Planorbis* и др., изредка одиночные костяки наземных позвоночных, типа *Elphas primigenius*, *Bos* и др. Мы объединяем эти осадки

под общим названием а т е л ь с к о й свиты. В кровле они более или менее размыты, книзу переходят в толщу так наз. хазарских осадков Каспия" /I32, стр.70/.

Выделив ательскую свиту, П.А.Православлев допустил неточность в определении нижней границы, считая ательские и хазарские отложения связанными постепенным переходом. Возможно, что такое заключение сделано им на основании наблюдающегося перехода су-глинков и супесей в аллювиальные пески "ахтубинского горизонта". Этот факт дал возможность в 1945 г. М.М.Жукову отнести ательские отложения к хазарскому ярусу /58/. Работавшая в 1952 году специальная комиссия по составлению "временной стратиграфической схемы четвертичных отложений Северного Прикаспия" /II2, стр.108/ также причислила ательские отложения к хазарскому ярусу. Очевидно, что Н.И.Николаев, М.М.Жуков не смогли отказаться от представлений П.А.Православлева о полусухом, степном климате времени формирования ательских отложений. Иной подход к климатическим условиям ательского времени отмечается в работах А.И.Коптева /77/ и А.И.Москвитина /109, 110/, которые считают, что формирование ательских отложений совпало по времени с развитием калининского (вюрмского) оледенения на Восточно-Европейской платформе.

В работах А.И.Москвитина /109, 110/, П.В.Федорова /174, 176 и др./, Ю.М.Васильева /19, 22/, Г.И.Горецкого /43/ и других были подробно освещены и изучены следы древних мерзлотных процессов, проявившихся в Северном Прикаспии в ательское время.

Однако представление П.А.Православлева о связи ательских и хазарских отложений все же позволило Ю.М.Васильеву (1961г.) отнести ательские отложения к верхнехазарскому горизонту и

сопоставить его с развитием на Восточно-Европейской платформе московского оледенения /22, стр.59, III/. П.В.Федоров относит ательские отложения к верхнему плейстоцену, но считает, что они тесно связаны с подстилающими их верхнехазарскими отложениями /I74, I75, I76/. Вслед за П.А.Православлевым /I3I/ П.В.Федоров и Ю.М.Васильев пытаются подтвердить наличие тесной связи между хазарскими и ательскими слоями, отмечая "нередко" между ними разрыв. "Нигде в разрезе этой свиты (ательской - Н.К.) нет сколько-нибудь значительных перерывов. Повсюду косослоистые пески вверх постепенно сменяются пылеватými песками, супесями и суглинками лессовидного характера. Таким образом, в порядке постановки вопроса можно говорить о том, что солонатоводные осадки Нижнего Поволжья, называемые обычно, верхнехазарскими, принадлежат уже не к хазарскому ярусу, а к более молодой свите, за которой надо сохранить первоначальное наименование П.А.Православлева - ательской свиты. Солонатоводные осадки составляют самую нижнюю часть данной свиты". /26, стр.93/. В том же 1961г. Ю.М.Васильев, подводя итог наблюдениям над хазарскими отложениями Нижней Волги, заключает, что:

"2. ... мы имеем право сопоставить нижнехазарский горизонт с косожской свитой Православлева, а верхнехазарский - с ательской и хазарской свитами той же схемы.

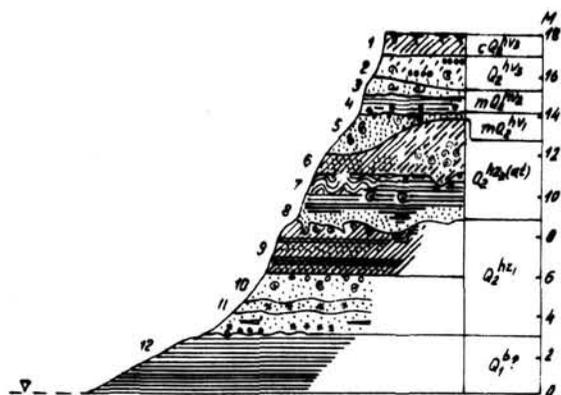
4. Морские и дельтовые верхнехазарские отложения обнаруживают тесную связь с ательскими слоями, в виду чего последние следует считать также верхнехазарскими.

7. Ательские слои ввиду их выдержанности по простиранию и постоянству в разрезах, следует считать не только фациальным, но и стратиграфическим комплексом (в рамках верхнехазарского горизонта); в стратиграфической

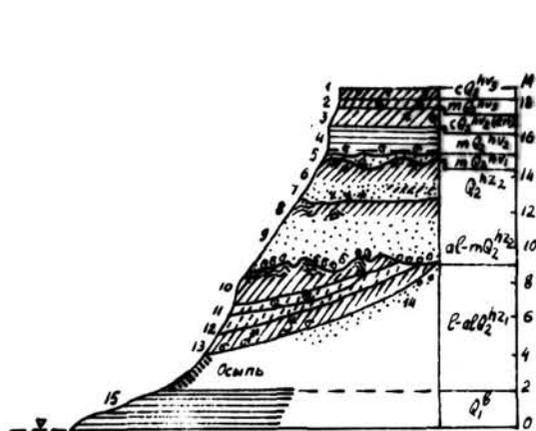
колонке он венчает верхнехазарский горизонт". /22, стр.59/.

Как видно из приведенных опорных разрезов плейстоцена Нижнего Поволжья (рис. I), Ю.М.Васильев по-разному подходит к вопросу об объеме ательских отложений, что вытекает из неопределенности положения нижней границы. Так, например, в разрезе у пос.Никольское их нет вообще, тогда как всеми исследователями они выделяются достаточно однозначно. Очевидно, исследователь не уделил должное внимание погребенной почве, разделяющей ательские и хазарские отложения (см. выше). В дальнейшем (в 1976 - 1980 гг.) , Ю.М.Васильев высказал мнение о том, что к ательским отложениям относятся разновозрастные осадки в целом имеющие сходный облик /24, 25/.

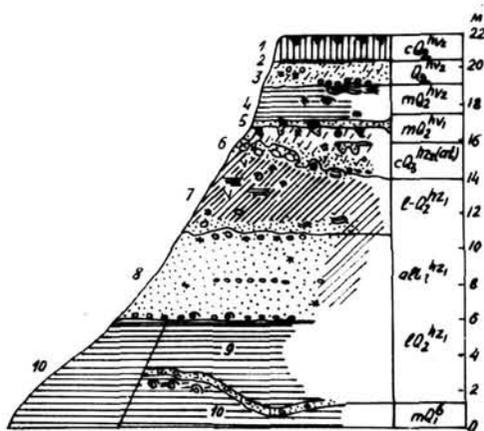
Более обоснованными представляются критерии выделения ательских отложений от комплекса хазарских осадков, предложенные А.И.Москвитиным еще в 1962г. /ИЮ, стр.155/. Автор показывает, что при геологическом изучении плейстоценовых отложений в Нижнем Поволжье часто за "ательские" принимаются измененные выветриванием и почвообразованием пойменные фации нижнего хазара, а также русловые фации "ахтубинского" горизонта причисляются к "черноярским слоям" и наоборот. "Избежать ошибок помогают яркие следы проявления вечной мерзлоты...Горизонт "мерзлоты" отчетливо выступает в обнажениях в виде песчаных псевдоморфоз ледяных клиньев, котлов и криотурбаций под ахтубинскими песками" /ИЮ, стр.155/. Ательские отложения отделены от подстилающих пород ярковыраженными следами почвообразования и выветривания. Часто в основании присутствует два горизонта погребенных почв, соответствующих микулинскому (верхний) и одинцовскому (нижний)



(Фиг.30)



(Фиг.33)



(Фиг.36)

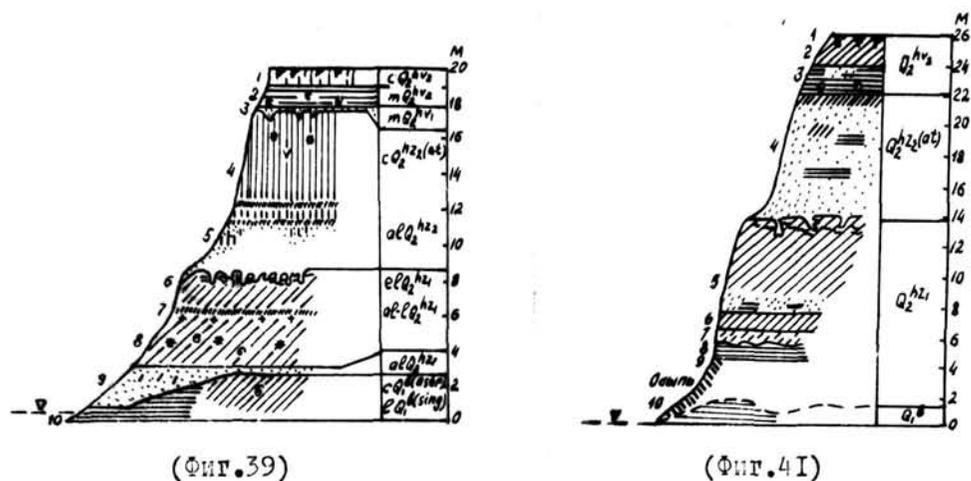
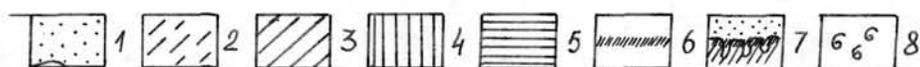


Рис. I. Строение разрезов четвертичных отложений Нижнего Поволжья по Ю.М.Васильеву (22): правый берег р.Волги: Фиг.30 - у с.Ветлянка, Фиг.33 - у пос. Никольское, Фиг.36 - у пос.Черный Яр, Фиг.39 - у с.Райгород; левый берег р.Ахтубы: Фиг.4I - у пос.Средняя Ахтуба.

Условные обозначения:



I - пески, 2 - супеси, 3 - суглинки, 4 - лессовидные суглинки и супеси, 5 - глины, 6 - погребенные почвенные горизонты, 7 - мерзлотные нарушения, 8 - фауна.

Примечание: нумерация рисунков взята из монографии Ю.М.Васильева "Антропоген Южного Заволжья", 1961, (22).

межледниковьям (рис.2). Иногда эти почвы могут быть сближены, иногда наложены одна на другую (что и вызывает осторожный подход к ним многих геологов), но следы существенного перерыва в осадконакоплении хазарских перигляциальных осадков и ательских имеются всегда.

Г.И.Попов, долгое время изучавший плейстоценовые отложения черноморско-каспийских проливов, выделил в 1957г. совместно с Г.И.Горецким в основании ательского горизонта гирканскую трансгрессию /I23, I24, I29/. Гирканская трансгрессия, по-видимому, является позднехазарской в понимании А.И.Москвитина /IIО, стр. I64/ и П.В.Федорова /I76, стр.80/. "Хвалынскоподобные" осадки и фауна гирканской, или "древнехвалынской" трансгрессии /I23, I24/ указывают, по мнению А.И.Москвитина на необходимость осторожного использования "атели" в стратиграфических целях" /IIО, стр.I64/.

"Осторожный" подход к ательским отложениям отмечен в работах геологов Саратовского университета, что отражено в последних монографиях саратовских геологов, где ательские отложения показываются приуроченными только к долине Волги, быстро выклинивающимися за ее пределами /I80/. Отмечая в целом проблематичность возраста ательского горизонта, причисляют его к хазарскому ярусу, а по времени соответствующему московскому оледенению. В монографии "Плиоцен и плейстоцен Волго-Уральской области" (1981г.) даже не освещена стратиграфия ательского горизонта - рядом только знак вопроса /94/.

Весьма ценные данные для уточнения возраста ательских отложений получены при изучении фауны млекопитающих /43, 47/, а также при археологических исследованиях /83, IIО/. С ательски-



Рис. 2 . Микулинская и одинцовская почвы в разрезе четвертичных отложений раннехвалынской аккумулятивной равнины (левый берег р.Ахтубы, 2 км ниже пос. Пологое Займище).

ми слоями на Нижней Волге связана Волгоградская палеолитическая стоянка (развитое мустье) /83, IIO/; по данным А.И.Москвитина /IIO/ стоянка расположена под ательскими слоями и связана с верхней погребенной почвой. Какой бы точки зрения мы не придерживались, бесспорно то, что на Волгоградской стоянке не были обнаружены такие типичные представители фауны млекопитающих хазарского фаунистического комплекса как гигантский олень, верблюд Кноблоха, эламотерий, плейстоценовый осел.

Все это свидетельствует о более молодом возрасте стоянки, чем время накопления верхнекривичского (хазарского) аллювия /43, стр.298/. Ательское время соответствует эпохе значительного обеднения хазарского фаунистического комплекса /IIO, стр. 89; 43, 47, 83/.

Среди большого круга специалистов различных направлений, изучавших геологию плейстоцена Северного Прикаспия и, в частности, ательские отложения необходимо отметить прежде всего А.А.Свиточа /I43, I44, IO/, В.К.Шкатуову /I87, I88/, И.Д.Куликову /I26/ и ряд других.

А.А.Свиточ /I43/ считает ательские и черныярские отложения одновозрастными, а их литологическое различие связывает с условиями осадконакопления в различных районах Нижнего Поволжья. В более поздних работах /I45, I46/ придерживается мнения, что формирование ательских отложений происходило в основном в век развития калининского оледенения на Восточно-Европейской платформе.

Выделение В.К.Шкатуовой /I87, I88/ под морскими хвалынскими отложениями в долине реки Урал осадков "уральской" свиты, заключающей в своем объеме "ателеподобные" суглинки, представ-

ляется неправомерным, т.к. с 1917 года эти осадки известны под названием ательских /130, 131, 132/. Основным критерием выделения новой свиты послужили межледниковые споро-пыльцевые спектры, тогда как ательские отложения характеризуются ледниковыми... /187/. Однако внимательное изучение материалов, на основе которых была выделена уральская свита, показало, что значительное количество образцов спор и пыльцы не содержит, а малочисленность пыльцы в других делает вывод о межледниковом климате формирования осадков уральской свиты весьма условным.

Если петрографические, литологические особенности ательских отложений изучены достаточно подробно (хотя только для опорных разрезов Нижнего Поволжья), то их минералогический состав освещен всего в ряде работ.

И.А.Шамрай и С.Я.Орехов /181, 182, 114/, а также Ю.М.Васильев и Н.В.Ренгартен /28/, изучив минералы песчаных фракций, предлагают различные минералогические критерии выделения ательских отложений, показывают минералогические особенности плейстоценовых отложений Нижнего Поволжья. Л.Г.Балаев и П.В.Царев /11/ показывают связь между составом и содержанием глинистых минералов и основными физическими свойствами аналогов ательских отложений в долине реки Маньч. С.К.Арбузова и В.Н.Синяков /7, 5/ показали, помимо минералогических особенностей различных фракций ательских супесей и суглинков, взаимосвязь показателей физических свойств с содержанием кварца и гидрослюда.

Особенности микроструктуры ательских лессовидных суглинков и супесей изучены крайне плохо. Освещение этого вопроса мы находим лишь в одной работе, выполненной на кафедре грунтоведения и инженерной геологии МГУ в 1982 году /101/.

Инженерно-геологическое изучение ательских отложений было начато при проведении изысканий под проектируемые Волгоградскую, Нижне-Волжскую и Уральскую ГЭС. При строительстве промышленных и гражданских сооружений г.Волжского были получены данные о физико-механических, физических и других инженерно-геологических характеристиках в большом количестве.

С.Н.Егоровым на примере Заканальной части г.Волгограда /56/ и г.Волжского /55/ произведен анализ изменения физических и физико-механических свойств ательских грунтов с глубиной. Автор показывает, что с возрастанием глубины залегания ательских грунтов наблюдается постепенное увеличение их влажности, коэффициента водонасыщения, а также показателей пластичности. С увеличением глубины залегания наблюдается закономерное уменьшение количества просадочных разностей, а у просадочных образцов наблюдается тенденция к уменьшению относительной просадочности. Ательские лессовидные грунты характеризуются первым типом грунтовых условий по просадочности.

На примере ательских грунтов, изученных при проектировании промышленных и гражданских сооружений г.Волжского, В.И.Бондаренко /14/ показал, что ательская толща является весьма неоднородной по составу. При мощности около 15м в разрезе ательских отложений выделяется до 13 слоев суглинков, супесей и песков, связанных между собой постепенными переходами. Среднее значение плотности скелета составляет: для суглинков - $1,60\text{г/см}^3$, для супесей - $1,65\text{г/см}^3$, для песков - $1,67\text{г/см}^3$. Просадочность проявляется в основном при давлении, дополнительном к бытовому. Ательские просадочные грунты содержат пылеватую фракцию в количестве от 10 до 50%, при среднем её содержании 28%. А с ростом

содержания пылевой фракции от $10 \pm 20\%$ до $40 \pm 50\%$ относительная просадочность при нагрузке $0,3\text{МПа}$ увеличивается от $0,014$ до $0,050$ соответственно /13, 14/. К числу просадочных ательских грунтов нередко относят и пески с содержанием пыли от 6 до 22%. Из изученных образцов песка только в 10% случаев

Таблица I

Зависимость относительной просадочности (при нагрузке $0,30\text{ МПа}$) песков ательского горизонта от плотности скелета по В.И.Бондаренко /13 /.

Плотность скелета, г/см ³	Относительная просадочность
1,52 - 1,56	0,043
1,56 - 1,60	0,025
1,60 - 1,64	0,021
1,64 - 1,68	0,021
1,68 - 1,72	0,022
1,72 - 1,76	0,019
1,76 - 1,80	0,017

пески обладали просадочными свойствами. Для просадочных разностей В.И.Бондаренко выявил следующие зависимости, которые сведены в таблицу 1,2,3. К сожалению, это пока единственная опубликованная работа по просадочности ательских песков. Однако автор не указал конкретно, что подразумевается под термином "пыль" - вся или только крупная фракция. Это важно еще потому, что согласно СНиП II-15-74 данные грунты относятся к пылеватым пескам, а по классификации С.С.Морозова /107, 108/ - к легким лессовидным супесям или лессовидным пескам. Наши исследования вопроса про-

Таблица 2

Зависимость относительной просадочности (при нагрузке 0,30 МПа) песков ательского горизонта от глубины залегания по В.И.Бондаренко /13 /.

Глубина залегания, м	Относительная просадочность
1 - 2	0,031
2 - 4	0,024
4 - 6	0,019
6 - 8	0,018
8 - 10	0,016

Таблица 3

Зависимость относительной просадочности (при нагрузке 0,30 МПа) песков ательского горизонта от содержания частиц 0,01 мм по В.И.Бондаренко /13 /.

Содержание частиц < 0,01 мм, %	Относительная просадочность
6 - 14	0,015
14 - 22	0,016
22 - 30	0,018
30 - 38	0,023

садочности песков показали, что в большинстве случаев ательские пылеватые пески (по СНиП II-15-74) могут быть отнесены к лессовидным супесям.

Наиболее значительными по объему и широте исследований являются работы В.Н.Синякова /156, 157, 158/. Автором составлены региональные таблицы нормативных и расчетных характеристик основных типов грунтов Волгоградской агломерации, в которые включены ательские лессовые суглинки. Нормативные значения относительной просадочности ательских грунтов представлены в таблице 4. В последующих работах В.Н.Синяков /158, 159/ на основе сравнительного анализа физических и физико-механических свойств лессовых грунтов, распространенных на Приволжской возвышенности, показывает единство времени и способа формирования (приобретения) просадочности этими двумя видами лессовых пород Нижнего Поволжья.

Несколько иную точку зрения на условия формирования просадочности лессовых грунтов ательского горизонта высказывает А.В.Минервин с соавторами /101/. А.В.Минервин считает, что просадочность ательских лессовых пород связана с перигляциальными условиями времени их формирования. Подробный анализ этих точек зрения будет сделан в специальной главе.

Несмотря на то, что в ряде мест Нижнего Поволжья ательские отложения выходят на поверхность, или перекрыты незначительными (не более 1 - 2 м) по мощности хвалынскими отложениями и определяют инженерно-геологические условия, в ряде региональных гидрогеологических и инженерно-геологических работ они либо не выделяются, либо объединены в комплекс "хвалыно-хазарских осадков Каспия" /39, 64, II3, I89 и др./. Механическое объединение

Таблица 4

Нормативные значения относительной просадочности ательских лессовых грунтов территории Волгоградской агломерации /156/.

Естественная влажность, %	Нагрузка P = МПа	Коэффициент пористости, E			
		0,51 - 0,60	0,61 - 0,70	0,71 - 0,80	0,81 - 0,90
0,1 - 5,0	0,2		0,017	0,026	
	0,3		0,029	0,046	
5,1 - 10,0	0,2	0,005	0,014	0,022	
	0,3	0,005	0,022	0,039	
10,1 - 15,0	0,2		0,010	0,019	0,027
	0,3		0,015	0,032	0,050
15,1 - 20,0	0,2		0,006	0,015	
	0,3		0,008	0,025	

ательских отложений с хвалынскими или хазарскими, выделение единого комплекса "хвалыно-хазарских" отложений приводит к тому, что разные по генезису отложения оказываются охарактеризованы "общими" свойствами, для них выводятся "средние обобщенные" показатели физических и физико-механических свойств /39, 64, 189/, при этом игнорируется методологическая основа грунтоведения - генетический подход при изучении горных пород как грунтов /151/. При рассмотрении подземных (грунтовых) вод "хвалыно-хазарских" отложений отмечается большая пестрота минерализации и химического состава /39, 189/. А ведь известно, что химический состав и минерализация подземных вод определяются помимо климатических факторов, геоморфологических, географических и геохимических ландшафтов еще геологическим строением, литологией и генезисом водовмещающих пород /118, 119, 151/. Так грунтовые воды ательских континентальных отложений в основном являются сульфатно-гидрокарбонатными натриево-кальциевыми или хлоридно-гидрокарбонатными кальциевыми с минерализацией до 1г/л, а грунтовые воды, содержащиеся в морских хвалынских отложениях, характеризуются как хлоридно-сульфатные или сульфатно-хлоридные натриевые или кальциево-натриевые с минерализацией от 3 до 15г/л, иногда более. При классификации грунтовых вод для каждого генетического типа четвертичных отложений Северного Прикаспия в отдельности не приходится говорить о большой пестроте их химического состава и минерализации.

В ы в о д ы к г л а в е I.

I. Отсутствие единой схемы расчленения четвертичных отложений Северного Прикаспия, нерешенность проблемы нижней границы, а следовательно и объема ательских отложений, трудность выделе-

ния ательских отложений в скважинах на обширных пространствах Волго-Уральского междуречья и Калмыкии приводит к тому, что в ряде работ они механически объединяются с хвалынскими и хазарскими отложениями.

2. Ательские отложения нельзя объединять с хазарскими и хвалынскими отложениями, так как от морских они отличаются по происхождению (генезису), а имеющиеся данные о климате ательского времени позволяют отнести их к "холодным" образованиям, чем они существенно отличаются от континентальных хазарских отложений.

3. Уже при проведении изысканий под Волгоградскую, Нижне-Волжскую и Уральскую ГЭС было установлено, что ательские лесовые породы, затоплявшиеся в своей истории водами раннехвалынской трансгрессии, обладают просадочными свойствами. Однако в литературе условия формирования этих свойств практически не освещены. В целом инженерно-геологическая изученность ательских отложений отличается крайней неравномерностью, основная масса работ выполнена в Нижнем Поволжье.

ГЛАВА 2. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ.

2. I. Геологическая история и палеогеографические условия бакинского и хазарского веков.

2.I.I. Бакинский век.

К отложениям раннего плейстоцена обычно относят бакинские морские и синхронные им континентальные образования.

Началу бакинского века и собственно плейстоцена (ряд исследователей апшеронские и акчагыльские отложения относят к эоплейстоцену) предшествовало накопление пресноводных и наземных образований, представленных неслоистыми суглинками и супесями, содержащими пресноводную фауну моллюсков и обильные растительные остатки. Эти осадки по П.В.Федорову соответствуют туркьянским слоям Азербайджана /174/. Осадки времени регрессии между апшеронским и бакинским веками отмечались и ранее. Однако их интерпретация в буровых скважинах встречает определенные трудности и обоснованность выделения в качестве самостоятельного горизонта туркьянских слоев не разделяется многими исследователями /22, 43, 180/. В настоящее время в Северном Прикаспии различают ниже- и верхнебакинские слои /174, 176/. Нижнебакинские отложения распространены на Волге, а верхнебакинские в За-волжье и вскрыты отдельными скважинами. Ю.М.Васильев /22/, а затем и Г.И.Горецкий /43/ сомневаются в достаточной обоснованности подразделения бакинского горизонта по фауне моллюсков, тем более, что П.В.Федоров /174/ по характеру фауны показывает незначительный перерыв. Тогда как Г.И.Горецким на основе анализа погребенных аллювиальных свит в долине Волги установлена длительная регрессия, во время которой происходило формирование

переуглублений и накопление соликамской и венедской аллювиальных свит. Тщательный анализ условий залегания сингильских континентальных отложений на размытой поверхности нижебакинских глин и перекрытие их нижнехазарскими отложениями позволяют Г.И.Горецкому с достаточной степенью достоверности предположить, что "сингильские отложения накопились в условиях сильного подпруживания со стороны вновь трансгрессировавшего Бакинского моря, в его верхнебакинскую фазу" /43, стр.384/.

Бакинские морские отложения известны в ограниченном числе мест, они выходят в обнажениях по Волге (Черный Яр, Нижнее Займище, Соленое Займище), на солянокупольных поднятиях (у озер Баскунчак, Челкар, Индерского), на реке Урал (у пос.Калмыково) и вскрыты рядом буровых скважин на глубинах 15-25м. Бакинские морские отложения представлены преимущественно глинами и глинистыми песками максимальной мощностью до 30-50м. По составу пыльцы и фауны моллюсков можно предположить в Северном Прикаспии господство весьма холодных, только временами более умеренных условий в раннебакинское время /IIО/. Лесостепные споропыльцевые спектры и более крупная фауна моллюсков, характерные для позднебакинское времени, указывают на смягчение климата к концу бакинского века.

Подводя итог характеристике бакинских отложений следует отметить следующее:

I. Нижняя граница бакинских отложений устанавливается по смене выдержанной пачки апшеронских песков темно-серыми бакинскими глинами. В ряде мест между бакинскими и апшеронскими отложениями встречаются континентальные водные и наземные образования, несущие следы почвообразовательных процессов. П.В.Федоровым /174, 176/ эти образования относятся к тюркянским слоям.

2. Бакинские и хазарские слои разделены разрывом, на границе между ними прослеживаются ископаемые почвы /23, 43, IIO/.

3. Подразделение бакинских отложений на верхние и нижние носит проблематичный характер, так как большинством исследователей отмечено совместное нахождение руководящих форм моллюсков /22, 43, IIO и др./ . П.В.Федоров /I74/, обосновывая такое подразделение бакинского времени и последовательно его отстаивая /I76/, считает, что в раннебакинское время морской бассейн ингрессировал в долину Волги, а в последующее позднебакинское время море распространилось более широко и испытало трансгрессию (при более высоком уровне). Г.И.Горецкий /43/ на основе анализа погребенных аллювиальных свит показывает, что максимального уровня достигал раннебакинский бассейн.

4. Бакинские отложения обычно залегают на небольших глубинах порядка 15 - 25 м. В то же время они известны в ограниченном количестве мест, большая часть которых связана с солянокупольной тектоникой.

5. Бакинские отложения Северного Прикаспия дислоцированы, что связано как с проявлением солянокупольной тектоники, так и с вертикальными движениями обширной территории.

6. Бакинские отложения в целом представлены темно-серыми глинами и глинистыми песками, реже ракушечниками и галечниками. Для начала бакинского века характерны суровые, возможно перигляциальные, условия: низкорослость фауны моллюсков в совокупности с таежно-лесостепным споро-пыльцевым спектром. Для конца бакинского века характерны более мягкие условия: отложения характеризуются "типичным межледниковым лесостепным спектром" /IIO/..

2.1.2. Хазарский век.

Геологическое развитие Северного Прикаспия в среднем

плейстоцене является наиболее дискуссионным моментом геологической истории региона. Ряд авторов включают ательский горизонт в состав среднего плейстоцена /22, 58, 112, 180 и др./, и поэтому на этапах развития Северного Прикаспия в среднем плейстоцене следует остановиться более подробно. К среднему плейстоцену относится комплекс морских и континентальных отложений, относимых в целом к хазарскому веку. В Прикаспийской впадине выходы морских хазарских слоев известны в ряде пунктов (низовья Волги и Урала, пос. Александров Гай, река Аще-Узек и др.), континентальные отложения известны повсеместно. П.А.Православлев /132/ выделил сингильские, астраханские, косожские и хазарские слои. Позднее П.В.Федоров /174, 175/ объединил эти отложения под собирательным названием хазарских и разделил хазарские слои на верхние и нижние. Причем верхнехазарские отложения в одной из последних монографий им отнесены к верхнему плейстоцену /176/. Ю.М.Васильев /22/ делит хазарский горизонт также на нижний и верхний, но сопоставляет "нижнехазарский горизонт с косожской свитой Православлева, а верхнехазарский с ательской и хазарской свитами той же схемы" /22, стр.59/. А.И.Москвитин /110/ к среднему плейстоцену отнес все горизонты, начиная с бакинского и кончая хазарским П.А.Православлева. Это небольшая справка состояния вопроса о среднем плейстоцене в Северном Прикаспии помогает понять сложность и неоднозначность интерпретации разрезов и трактовке тех или иных отложений различными авторами, или даже одним и тем же автором, но в разных трудах.

На наш взгляд (в результате критического анализа литературных и фондовых источников, а также по личным геологическим исследованиям в Северном Прикаспии) история развития Северного

Прикаспия в среднеплейстоценовое время представляется в следующем виде.

Нижняя граница среднего плейстоцена определяется решением проблемы стратиграфии и возраста сингильских слоев, относимых Г.И.Горецким /43/, Ю.М.Васильевым /22/ и другими исследователями к верхам бакинского горизонта. П.В.Федоров /176, стр.45 - 47/ отстаивает свой взгляд на приуроченность сингильских слоев к началу хазарского века.

Таким образом, начало хазарского века (среднего плейстоцена) ознаменовалось формированием в долине Волги аллювиальных песков соликамской и венедской свит, заполняющих глубокие врезы в бакинских глинах. С размывом эти отложения перекрываются сингильскими пресноводными, преимущественно старичными отложениями, перекрывающими осадки раннебакинской трансгрессии и пески соликамской и венедской аллювиальных свит. Воздействие подпора позднебакинской (по Г.И.Горецкому) или одной из первых фаз раннехазарской трансгрессии (по П.В.Федорову) на формирование обширных пространств, занятых лиманами, старицами, болотами и пр., в которых происходило накопление глинистых сингильских осадков, представляется менее значительным, чем тектоническое опускание прибрежных территорий. По изучениям споро-пыльцевых спектров верхнебакинских, сингильских и нижнехазарских отложений /IIО/ можно сопоставить верхнебакинские, характеризующиеся межледниковыми лесостепными спектрами, с началом лихвинского межледниковья Восточно-Европейской платформы. Тогда как сингильские и нижнехазарские отложения уверенно охарактеризованы ледниковыми спектрами. А.И.Москвитин, уделяя основное внимание увязке событий в Северном Прикаспии с ледниковыми эпохами, связал формирование IV террасы Волги с днепровским оледенением

и развитием раннехазарской трансгрессии. Растительная пыльца в виде ярковыраженных спектров темнохвойной тайги и "перигляциальных" комплексов получена как из осадков IУ террасы, так и из нижнехазарских осадков Прикаспия /IIO, см. табл. II-I4/. Во всем Нижнем Поволжье и Прикаспийской низменности в раннехазарское время почти непрерывно господствовали суровые условия. Таежные ландшафты сингильского века постепенно сменяются тундровыми, лесо-тундровыми ландшафтами времени развития раннехазарской трансгрессии (днепровского оледенения на севере). Таким образом, палинологическое изучение верхнебакинских, сингильских и нижнехазарских отложений, а также изучение строения аллювия IУ террасы Волги, достаточно однозначно увязываемой с раннехазарской трансгрессией, позволяет отнести сингильские отложения к началу среднего плейстоцена и связать их формирование с тектоническим опусканием территории Нижнего Поволжья перед началом раннехазарской трансгрессии.

В большинстве случаев кровля сингильских осадков размыта и перекрывается трансгрессивно косожскими осадками /I74, I76/. Косожские осадки (схема П.А.Православлева) представляют собой аллювиально-морские песчано-глинистые, часто с прослоями темных илов, отложения. Примесь значительного количества раковин морских нижнехазарских моллюсков позволяет связать образование косожских слоев с началом трансгрессии раннехазарского моря, что еще раз доказывает отсутствие влияния подпора трансгрессирующих позднебакинского (по Г.И.Горецкому) или раннехазарского морей (по П.В.Федорову) на формирование сингильских слоев.

Горизонты: копановский, райгородский и чернойрский, намеченные по пыльце В.П.Гричуком /IIO/, в настоящее время могут рассматриваться только как местные фации, взаимоотношения кото-

рых подлежат дальнейшему уточнению. Однако, черноморские пески, имеющие определенное стратиграфическое значение в долине Нижней Волги, позволяют четко выделять в обнажениях нижнюю границу верхнего плейстоцена (см. ниже).

Проблема возраста "черноморского" аллювия среднеплейстоценовой Волги существует, на наш взгляд, из-за недостаточной изученности этих примечательных отложений.

П.В.Федоровым /174/ под черноморскими песками понимались и собственно черноморские и ательские (ахтубинские по Г.И.Горькому, 1966 и А.И.Москвитину, 1962). Так при описании райгородского разреза Федоров /174, стр.101, см. фиг.49) считает, что под шоколадными глинами залегают следующие верхнеплейстоценовые отложения:

"3. Пористые уплотненные суглинки, реже супеси, палевого цвета, лессовидного характера, неслоистые, со следами разложившихся растений. Мощность 6-7м. Ниже они весьма постепенно опесчаниваются, переходя в слой 4.

4. Неслоистые, ниже - косослоистые пески аллювиального типа. Мощность 2-3м.

Слой 3 обычно именуется "ательскими суглинками" (слоями), а слой 4 - в понимании схемы четвертичной комиссии /112/ - "черноморскими слоями". Последние лежат на размытой поверхности подстилающих осадков".

Под хвалынскими морскими отложениями у Черного Яра П.В.Федоров показывает следующее взаимоотношение черноморских и ательских отложений /174, см. фиг.50 и 51, стр.101/;

"4. Уплотненные пористые палево-суглинки, переходящие ниже в супеси, со следами разложившихся травянистых

растений. Кровля этих отложений носит следы разрушения. Мощность 1,5-2м. Ниже лессовидные супеси совершенно незаметно переходят в слой 5.

5 - 6. Пески светло-желтые, кварцевые, приобретающие постепенно горизонтальную, а еще ниже (слой 6) - косую слоистость аллювиального типа (черноярские слои). Мощность слоев 5-6 до около 7м."

На противоположном берегу волжской долины, на левом берегу Ахтубы, в 1км ниже станции Ахтуба, обнажаются /174, см. Фиг.52, стр.102-103/ следующие верхнеплейстоценовые отложения:

"4. Супеси лессовидные, светло-палевые, пористые, (ательские). Мощность 1м. Постепенно переходят в слой 5.

5. Пески кварцевые, светлые, косослоистые, речного характера (Черноярские слои). Мощность 2м. Залегают на размытой поверхности подстилающих отложений."

Из приведенных выше описаний характерных обнажений видно, что П.В.Федоров ошибочно объединил ательские (ахтубинские) и черноярские пески, которые отнес к верхнему плейстоцену. На самом деле ательские и черноярские пески отделены друг от друга стратиграфическим перерывом (регрессия моря, почвообразование и размыв). Исследованиями П.А.Православлева и В.И.Громовой /132/, М.Н.Грищенко /47/, А.И.Москвитина /110/ и рядом других показано, что черноярские слои содержат фауну млекопитающих казарского фаунистического комплекса, тогда как в ательское время в Северном Прикаспии появляются: мамонт, северный олень и другие представители холодолюбивой фауны. По этому вопросу П.В.Федоров подвергался критике последующими исследователями плейстоцена данного региона /22, 110, 43 и др./. В другой более поздней монографии

П.В.Федоров /I76/ помещает черноморские пески в основание косожских слоев (в понимании П.А.Православлева, I32), отмечая, что они заключают в себе остатки кабарского комплекса млекопитающих /I76, см. стр.48/.

Как уже отмечалось, Ю.М.Васильев /22/ отнес ательские отложения к позднему кабару среднего плейстоцена, но в более поздних работах /23, 24, 26, 27 и др./ ательские отложения включены уже в рамки отложений позднего, отчасти среднего плейстоцена. Но тем не менее черноморские пески оставлены в рамках раннего кабара.

Таким образом на протяжении многих лет существует проблема верхней границы среднего плейстоцена. В.К.Шкатовой /I87, I88/ проведены детальные исследования плейстоценовых отложений Волги и Урала, составлены схемы взаимоотношения морских, аллювиально-морских и аллювиальных толщ каждого возраста. И эти исследования могли бы разрешить ряд спорных моментов геологической истории Северного Прикаспия, если бы автор в своих построениях опирался на существующие схемы расчленения каспийских отложений. Переименования В.К.Шкатовой /I87, I88/, введенные в целом для отложений среднего плейстоцена, по нашему мнению совершенно излишни, как противоречащие правилам приоритета и вносящие путаницу в достаточно сложную стратиграфию среднего плейстоцена Северного Прикаспия.

По результатам исследований, а также на основании анализа многочисленной литературы и фондовых материалов можно предположить, что завершение среднего плейстоцена Северного Прикаспия (в частности на Нижней Волге) совпало в южных районах с развитием позднекабарской трансгрессии; в более северных - с формированием аллювиальных кабарских свит (черноморской и других).

Наилучшее геологическое обоснование возраста позднехвалынской трансгрессии сделано А.И.Москвитиным /ИЮ/, который провел сопоставление строения аллювия III надпойменной террасы р.Волги на различных ее участках, а также увязал ее с краем московского оледенения. Сходных взглядов на связь аллювия III надпойменной террасы с зандрами московского оледенения в районе Мещеры на Оке придерживается и А.В.Кожевников /71, 72/. Несмотря на малочисленность определений, споро-пыльцевые спектры аллювия III террасы являются все же перигляциальными - травяными /ИЮ, 43/. Анализ споро-пыльцевых спектров и характер фауны пресноводных моллюсков позволили А.И.Москвитину /ИЮ/ утверждать, что завершение формирования III террасы проходило в суровых перигляциальных условиях. Малочисленность выходов верхнехазарских морских отложений, слабая фациальная изученность затрудняют их корреляцию с событиями, проходившими в это время за пределами Северного Прикаспия.

Тем не менее, подробное описание всех имеющихся обнажений III террасы, взаимоотношений морских и континентальных отложений дали возможность А.И.Москвитину /ИЮ, стр.171/ сопоставить начало развития позднехазарской трансгрессии с формированием верхней пачки аллювия (перигляциальной) III террасы р.Волги за пределами позднехазарского бассейна.

Г.И.Попов /123, 124, 125/, Г.И.Горецкий /43/ именуют позднехазарскую трансгрессию гирканской и связывают ее развитие с микулинским межледниковьем. А при трехчленном делении хвалынского яруса (в понимании Г.И.Попова, 124) относят гирканскую трансгрессию к его нижнему горизонту. Подобная терминология, возможно представляет определенные удобства при расчленении четвертичных отложений Маньчской долины, но при распространении её на весь Северный Прикаспий, где эти отложения известны науке более 50

лет под названием поздне- (верхне-) хазарских, по-видимому, вносит определенные недоразумения /I76, стр.50/.

Таким образом, завершение хазарского века в Нижнем Поволжье ознаменовалось повсеместным почвообразованием в микулинское межледниковье, что подтверждается широким развитием степных (лугово-степных) почв, подробно описанных в обнажениях на Волге и Ахтубе Е.В.Шанцером /I83/, Ю.М.Васильевым /22/ и А.И.Москвитиным /IIO/.

2.2. Геологическая история и палеогеографические условия ательского и хвалынского веков.

2.2.1. Ательский век.

Начало позднего плейстоцена ознаменовалось в Северном Прикаспии регрессией позднехазарского бассейна и формированием микулинских степных (лугово-степных или лугово-болотных) почв.

Во всех схемах расчленения четвертичных отложений Северного Прикаспия, начиная с П.А.Православлева /I30, I32/ и всех последующих исследователей, всегда выделялись ательские субаэральные (субаквальные) континентальные отложения.

Ательские отложения занимают определенное стратиграфическое положение между морскими верхнехазарскими и нижнехвалынскими отложениями и представлены преимущественно континентальными образованиями различного генезиса. Ательский горизонт как стратиграфическое подразделение четко ограничен и пользуется в Северном Прикаспии повсеместным распространением. Аналоги ательских отложений известны в долинах рек Большого и Малого Узеня, Урала, в Приманьчье (гудиловские слои по Г.И.Попову, I25).

В основании ательских отложений выделяются в долине Волги

светлые аллювиальные пески, выделенные Г.И.Горецким в 1949 году под названием ахтубинских /43, IIO/. Они залегают либо с размывом на подстилающих верхнехазарских отложениях, либо отделены от них микулинской почвой. Различия в характере нижнего контакта связаны с условиями размыва в разных частях долины Волги /22, IIO, 43, 62, 63/. Мощность "ахтубинских" песков не превышает 4м. Выше по разрезу они постепенно сменяются лессовидными супесями и суглинками. Мощность суглинков изменяется от I до IOм, а общая мощность ательских отложений в Северном Прикаспии составляет от I до 20м. По четкому контакту они перекрыты нижнехвалынскими морскими отложениями. Характер этого контакта различен в зависимости от условий существования ательских отложений.

Разрезы, вскрывающие ательские отложения, подробно описаны в литературе /22, 43, IIO, I74, I76 и рядом других исследователей/. Нами они изучались во многих пунктах Нижнего Поволжья (от г.Волжского до г.Ленинска, в районе Капустиного Яра и Ахтубинска на реке Ахтубе, в районе поселков: Светлого Яра, Райгорода, Черного Яра, Никольского и Енотаевска на р.Волге). Аналоги ательских отложений изучены в Волгоградском Заволжье, в районе рек Большой и Малый Узень, а также на реке Урал и в Зауралье. Выяснение условий формирования ательских отложений Северного Прикаспия невозможно без детального изучения разрезов четвертичных отложений, выяснения их взаимоотношения с подстилающими и перекрывающими отложениями. Это необходимо также для правильного истолкования полученных инженерно-геологических характеристик ательских отложений (см. выше), которые в Нижнем Поволжье повсеместно слагают зону аэрации, обладают просадочными свойствами и являются основаниями и средой многих промышленных и гражданских сооружений. Северный Прикаспий характеризуется чрезвычайно слабой

обнаженностью и отсутствием на протяжении многих десятков и даже сотен километров каких-либо естественных обнажений. Многокилометровые разрезы Нижнего Поволжья представляют возможность проследить взаимоотношения различных возрастных и генетических толщ плейстоценовых отложений. Тщательное изучение ательских отложений на Нижней Волге в пределах раннехвалынской аккумулятивной равнины, выяснение взаимоотношения их с подстилающими и перекрывающими толщами пород показало полную обоснованность для позднего плейстоцена схемы А.И.Москвитина /ИЮ/.

Наиболее изученными в инженерно-геологическом плане, как в качественном так и в количественном отношении, является участок раннехвалынской аккумулятивной равнины левобережья р.Ахтубы (вторая терраса высокого уровня по А.В.Кожевникову) в районе г. Волжского. Изучение многочисленных разрезов шурфов, скважин, вскрывающих толщу четвертичных отложений до глубины 30 м, а также корректировка этих разрезов по естественному обнажению, длиной около 2 км южнее рабочего поселка г.Волжского, позволяют расчленить толщу следующим образом (рис. 3А);

рd Q_{III-IV}I. Современный почвенный горизонт представлен суглинком темно-коричневым, комковатым, сухим, гумусированным, в основании с большим количеством известковых конкреций. Мощность до 1,0м. Характер нижней границы меняется в зависимости от подстилающих материнских пород. Если мощность хвалынских отложений менее 1,0м, то граница четкая по контакту с палевыми лессовидными суглинками. Если же их мощность более 1,0м, то четкой границы не наблюдается.

т Q_{III}^{IV} 2. Глины шоколадные, жирные, влажные, сверху сухие, пре-

образованные в почву (см. слой I), слоистые, трещиноватые. На данном участке шоколадные глины имеют спорадическое распространение и линзовидное залегание. Мощность от 0 до 2,0м, редко более.

α Q^{at}_{III}

3. Суглинки светло-коричневые, палевые, лессовидные, макропористые, слабо-влажные, в обнажении держат вертикальную стенку, вверху трещиноватые, трещины вертикальные с ожелезнением, прослеживаются на глубину до 1,5м от кровли. К основанию суглинки постепенно опесчаниваются и переходят в супеси, а затем в пески. Мощность от 3 ÷ 4 до 8 ÷ 10м.

4. Пески мелкозернистые-тонкозернистые, желтые, глинистые, слабо влажные, слоистые, в отдельных разрезах могут встречаться линзы и тонкие прослой серых песков. Мощность от 1,0 до 3,0м.

5. Суглинки-супеси светло-коричневые, палевые, лессовидные, макропористые, слабо влажные - влажные, точечно омарганцованные. Мощность до 4,0м. Подошва слоя имеет почти горизонтальную границу. На границе в отдельных случаях может наблюдаться слой сильно песчаных супесей или песков того же цвета.

ρ α Q^{МК}_{III}

6. Суглинки серые, плотные, трещиноватые, пронизаны трещинами морозобойного облика (рис. 15). Мощность около 1 м.

7. Суглинки серые, серо-коричневые, сильно ожелезненные. Мощность около 1 м.

α Q^{h22}_{II}

8. Пески светло-серые, косослоистые, глинистые и ожелезненные прослоями, мелкозернистые-среднезернистые. Мощность от 0,70 до 1,2м.

- $pd Q_2^{od}$ 9. Суглинки темно-коричневые, твердые, комковатые, макропористые. Мощность около 2,0 м.
- Q_{II}^{kz} 10. Пески желтые, желто-коричневые, глинистые, косоволнистослоистые. Мощность от 1,5 до 2,0 м. Граница с подстилающими отложениями неровная, волнистая.
- $Q_{II}^{s(?)}$ 11. Глины темно-серые, влажные, тугопластичные, в сухом состоянии светло-серые, плотные, с растительными остатками. Видимая (вскрытая) мощность около 5 м.

Разрез четвертичных отложений на данном участке раннехвалынской аккумулятивной равнины характеризуется мощной толщей ательских лессовидных супесей и суглинков и спорадическим распространением морских нижнехвалынских отложений. Ательская толща состоит из двух пачек, начинающихся суглинками, которые постепенно переходят в пески. В ряде разрезов, вскрытых скважинами в северной части г. Волжского, первая (верхняя) пачка может быть подразделена на две: верхнюю, начинающуюся суглинками, мощностью от 6 до 7 м и нижнюю, начинающуюся супесями, мощностью от 4 до 6 м. Общая мощность ательских отложений изменяется от 13 до 16 м. Более отчетливо трехчленное строение ательской толщи выражено на участке раннехвалынской аккумулятивной равнины у пос. Средняя Ахтуба.

В 10 км ниже пос. Средняя Ахтуба близ с. Заплавное в каньонообразной долине реки, вытекающей из лиманообразного понижения "Сорочий Лиман" удалось на протяжении 1,0 км непрерывно проследить строение $3^{ей}$ ($2^{ой}$ высокого уровня по А.В. Кожевникову) террасы (рис. 3В).

В несколько обобщенном виде разрез можно представить так:

$e Q_{III-IV}$ I. Суглинки желтые, желто-коричневые, сухие, твердые, макропористые. Мощность от 0,80 до 1,0 м.

- m Q_{III}^{hvi}* 2. Глины шоколадные, слоистые-волнисто-слоистые, по слоям наблюдается тонкая присыпка песчано-пылеватого материала; переслаивающиеся с суглинками более светлых оттенков. На отдельных участках слоистость нарушена, по-видимому, действием палеомерзлотных процессов. Мощность прослоев не превышает 0,05-0,10м. Мощность пачки от 0,60 до 0,8м.
- m Q_{III}^{hvi}* 3. Глины шоколадные, трещиноватые, тонкоплитчатые, по трещинам ожелезненные и омарганцованные. Мощность около 1,0м. Выше подошвы глин на расстоянии 0,10-0,15м встречен выдержанный по простиранию прослой суглинков желто-коричневых. Мощность его не превышает 0,05-0,10м. Нижняя граница слоя практически ровная.
- at Q_{III}* 4. Суглинки желтые, палево-желтые, лессовидные, макропористые, влажные, слабовлажные, точечно омарганцованные, ожелезненные. Мощность слоя от 1,00 до 1,50м.
5. Песок желтый, серо-желтый, слабоожелезненный, мелкозернистый, преимущественно кварцевый. Мощность от 1,0 до 2,5м.
6. Суглинки коричневые, желто-коричневые, лессовидные, макропористые. Мощность от 4 до 6м.
- mk pd Q_{III}* 7. Микулинская погребенная почва. Суглинки плотные серо-желтые, сильно карбонатные, карбонаты в виде пятен, натеков и псевдоконкреций. Верхняя граница прослеживается хорошо на значительном протяжении обнажения, нижняя - выделяется условно: по исчезновению карбонатов. Мощность от 0,10 до 0,40м.
- Q_{II}^{hz2}* 8. Суглинки в верхней части непосредственно под почвой, светло-коричневые, палевые, карбонатные, плотные, у

подшвы становятся более темными, в основании выделяется горизонт суглинков темно-коричневых, ожелезненных.

- ? 9. Суглинки коричневые, плотные, сильно карбонатные, напоминают горизонт погребенной почвы. Верхняя и нижняя граница нечеткие. Мощность от 0,05 до 0,30м.
- $Q_{II}^{h2,1}$ 10. Пески желтые, желто-коричневые, слабоожелезненные, кварцевые, мелко-среднезернистые. Мощность около 2м. Контакт с подстилающими глинами и суглинками неровный, волнистый.
- Q_{II}^s 11. Суглинки и глины серые, темно-серые, с ожелезненными прослоями коричнево-бурого цвета. Видимая мощность около 4м. В глинах встречены сильно ожелезненные остатки древесной растительности (рис. 4).

Изученный разрез в целом сохраняется на всем протяжении обнажения, а также вглубь террасы. С севера на юг наблюдается изменение мощности хвалыньских шоколадных глин. В северной части мощность хвалыньских отложений составляет 1,8-2,0м; в южной - не превышает 0,8-1,0м; по направлению к лиманоподобному понижению "Сорочий Лиман" наблюдается увеличение мощности хвалыньских шоколадных глин, которая составляет 0,8-1,5м вблизи р.Ахтубы и 10-12м в "Сорочьем Лимане", где ведется их промышленная разработка.

Левый берег реки Ахтубы, 500м выше водонасосной станции у пос. Средняя Ахтуба. В обрыве сверху вниз обнажаются (рис.3Б):

- $pd Q_{III-IV}$ 1. Почвенно-растительный слой. Суглинки коричневые, сухие, макропористые. Мощность от 0,10 до 0,50м.
- $m Q_{III}^{h2,1}$ 2. Глины шоколадные, плитчатые, в обнажении сухие, обра-



Рис. 4. Сильно ожелезненные остатки древесной растительности в сингильских отложениях, (левый берег р. Ахтубы 10 км ниже пос. Средняя Ахтуба).

зуют щебнисто-плитчатую осыпь у основания склона. Мощность от 0,10 до 1,20 м. Граница с подстилающими породами практически ровная (рис. 5), на границе тонкий прослой желто-серых песков.

- La Q_{III}^{at}* 3. Суглинки желто-коричневые, лессовидные, макропористые, слабоожелезненные. Мощность около 1,5 м. Ниже по разрезу суглинки быстро опесчаниваются и постепенно переходят в слой 4.
4. Пески желтые, мелкозернистые, слабо влажные, ожелезненные. Мощность 1,5-1,7 м.
5. Супеси светло-коричневые, макропористые, точечно омарганцованные. Мощность 0,30 м.
6. Пески желтые, желто-коричневые, мелкозернистые, влажные, ожелезненные. Мощность около 2,0 м.
7. Супеси желтые, желто-коричневые, макропористые, слабо влажные. Мощность около 2,0 м.
8. Пески желто-коричневые, мелкозернистые, слабоожелезненные, постепенно переходят в пески светло-серые, кварцевые. Мощность около 1,5 м.

В целом в ательских отложениях Среднеахтубинского разреза выделяется три пачки, начинающиеся суглинками или супесями, переход от которых к пескам, весьма постепенный, проведение границы между ними носит условный характер. Мощность ательских отложений от 8,50 до 9,0 м, реже до 10 м.

В основании ательских отложений прослеживаются плохо сохранившиеся погребенные почвы (вероятно микулинского возраста) представленные серыми, песчанистыми суглинками мощностью от первых сантиметров до 0,4 м. Кровля подстилающих отложений несет следы морозного выветривания.



Рис. 5. Строение верхней части обнажения четвертичных отложений (левый берег р.Ахтуба 500м выше пос.Средняя Ахтуба).

^{h22}
Q_{II-III} 9. Пески желтые с прослоями коричневых, сильноожелезненных песков. Слоистость практически горизонтальная, слабо наклоненная вниз по течению Ахтубы. Видимая мощность около 1,0 м. Далее склон закрыт осыпными и оползневыми отложениями. Высота обрыва около 22-23 м, в нижней части на высоте 5-6 м обнажаются пески аналогичные слою 9. Таким образом, можно предположить мощность слоя 9 около 5-6 м. Морфологически пески слоя 9 похожи на черноморские, подробно изучены нами в разрезе Черного Яра на р. Волге.

Наиболее значительные по мощности ательские лессовидные суглинки и супеси наблюдаются в районе поселка Райгород на Нижней Волге, где они слагают значительный массив.

Здесь, в 1,5 км выше поселка Райгород встречен следующий разрез (сверху вниз):

^eQ_{III-IV} 1. Суглинки и супеси желто-коричневые, сухие, рыхлые, в верхней части гумусированные, с многочисленными корнями растений. Мощность 0,50 - 0,60 м.

^mQ_{III}^{h21} 2. Глины шоколадные, слабовлажные, полутвердые, слоистые, тонкоплитчатые, по слоям наблюдаются тонкие прослой пылеватого песка, трещиноватые, ожелезненные по трещинам, загипсованные. Мощность около 1,00 м. Граница с подстилающими отложениями неровная.

^{at}
^aQ_{III} 3. Суглинки светло-коричневые, лессовидные, влажные, макропористые, трещиноватые. В верхней части наблюдается значительное скопление гипсовых конкреций размером от 1 до 6 см, овальной, грушевидной, бобовидной и другой формы. В целом конкреции наблюдаются во всей толще суглинков и выделяются два горизонта, обогащенные кон-

крециями, в интервале глубин от 1,7 до 2,5 м и от 3,5 до 5,0 м. Суглинки постепенно переходят в супеси того же цвета, лессовидные, макропористые, точечно омарганцованные; постепенный переход наблюдается на глубине 5,4 - 5,5 м. Вся толща разбита вертикальными трещинами, стенки трещин ожелезнены и омарганцованы. К основанию супеси быстро опесчаниваются и переходят в пески темно-коричневые, глинистые, косо-волнистослоистые. Мощность ательских отложений 9,0-10,0 м.

4. В основании ательских отложений выделяется горизонт погребенных почв, представленных темно-серыми, серо-коричневыми песчанистыми суглинками, гумусированными. Мощность от 0,3 до 0,5 м реже более. Нижняя граница нечеткая.

$Q_{II}^{kz_2}$ 5. Супеси и пески серо-желтые, вверху ожелезненные, косо-слоистые. Видимая мощность около 0,3-0,4 м.

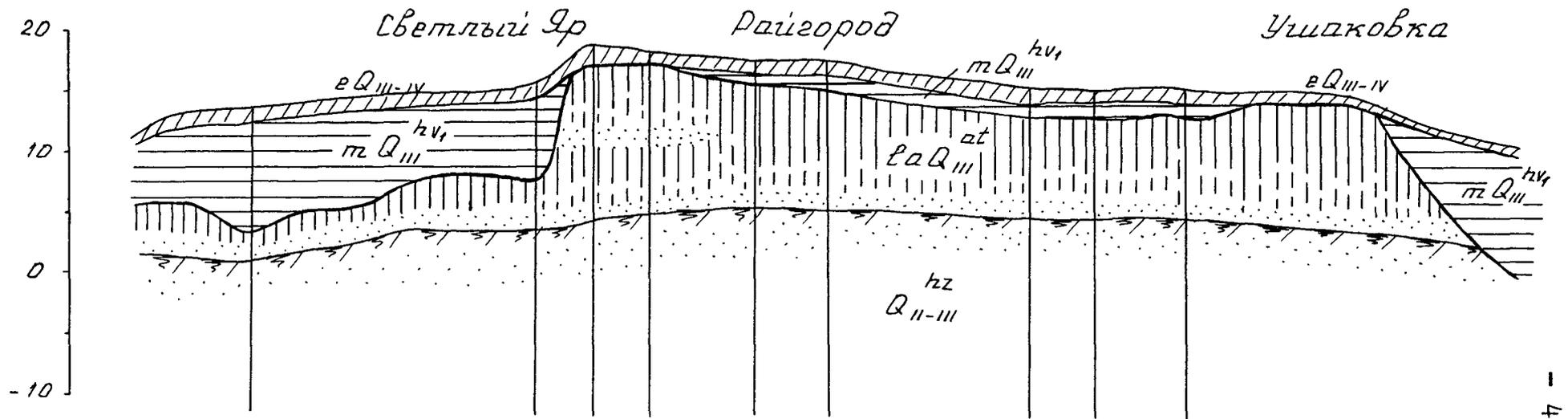
Далее склон закрыт делювиальными отложениями, общая высота раннехвалынской равнины над поймой реки Волги составляет 17-19 м.

Выше села Райгород в районе пос. Светлый Яр на протяжении нескольких сотен метров удалось проследить взаимоотношение ательских и нижнехвалынских отложений, которые слагают крупную линзу. В схематичном виде (рис. 6) строение раннехвалынской аккумулятивной равнины можно представить в следующем виде:

Q_{III-IV}^e I. Суглинки и супеси лессовидные, макропористые, желто-коричневые, вверху преобразованные в почву, трещиноватые. Залегают выдержанным слоем мощностью около 1,0 м.

$Q_{III}^{zv_1}$ 2. Хвалынские отложения можно разделить на три крупные пачки:

а) переслаивание бурых супесей, суглинков и глин, мощ-



Абс. отм., м	13,30	15,50	17,5	17,0	16,92	16,0	16,0	14,7	14,6
Расстояние, м	10250	2500	2250	4250	3000	5800	2750	3750	16500
№ скв	10	22	24	119	120	125	121	304	32

Рис. 6. Разрез четвертичных отложений вдоль правого берега реки Волги от поселка Светлый Яр до поселка Ушаковка (условные обозначения см. к рис. 3).

ность прослоев от первых сантиметров до 0,3 м, по контакту прослоев наблюдаются тонкие прослой пылеватых песков, сильно ожелезненных. Мощность от 1,5 до 5,0 м.

б) Глины шоколадные, крупнослоистые, характеризуются плитчато-блочной отдельностью, сильно трещиноватые, отмечается ряд крупных зияющих трещин, уходящих вглубь склона перпендикулярно к обрыву. Мощность от 1,0 до 3,0 м.

в) Переслаивание бурых супесей, суглинков и глин, преобладают супеси и суглинки, по контакту слоев наблюдаются прослой пылеватых песков бурых и желто-коричневых ожелезненных. Мощность от 0 до 4,5 м.

Общая мощность хвалыньских отложений изменяется с юга на север от 0 до 7,5-8,0 м.

Хвалыньская толща по неровной границе залегает на ательских отложениях (рис. 7)

α Q_{III} at

3. Суглинки лессовидные, макропористые, зеленовато-коричневые, палевые, к низу быстро опесчаниваются и переходят в супеси светло-коричневые. Мощность около 2,0 м.

4. Переслаивание светло-коричневых лессовидных супесей и песков. Мощность около 3,0 м. В основании этой пачки наблюдаются супеси зеленовато-серые, ожелезненные, нарушенные мерзлотными процессами. Ожелезнение подчеркивает и оконтуривает эти нарушения (рис 8).

В супесях встречены три небольших мерзлотных клина длиной от 0,4 до 0,5 м, и шириной от 0,1 до 0,3 м.

В основании клиньев хорошо прослеживается смятие ниже лежащих слоев. Мощность слоя, захваченного мерзлотными



Рис. 7 . Характер контакта ательских и нижнехвалынских отложений, слагающих крупную линзу (северная окраина пос. Светлый Яр, правый берег р.Волги).

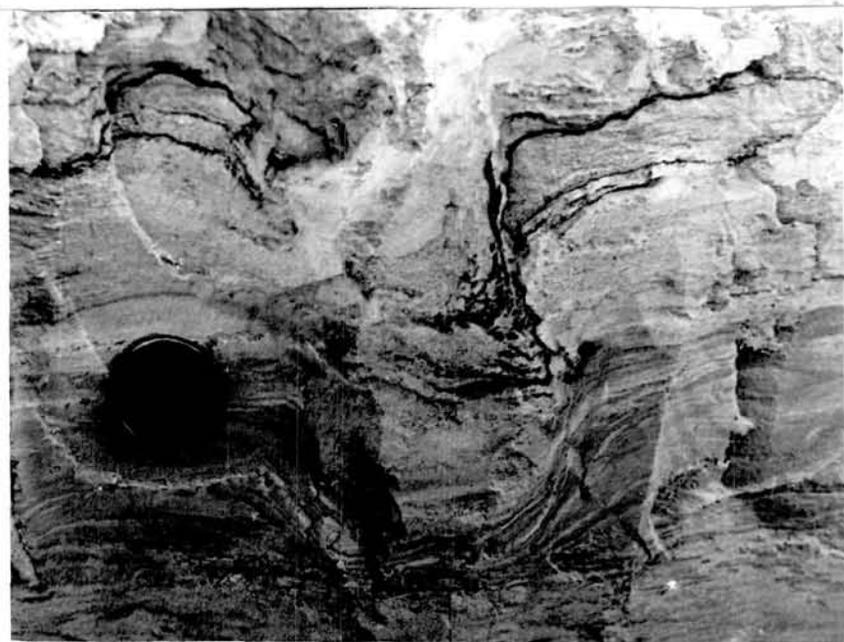


Рис. 8 . Нарушение слоистости в основании ательской толщи у пос.Светлый Яр (правый берег р.Волги /сл.№4/).

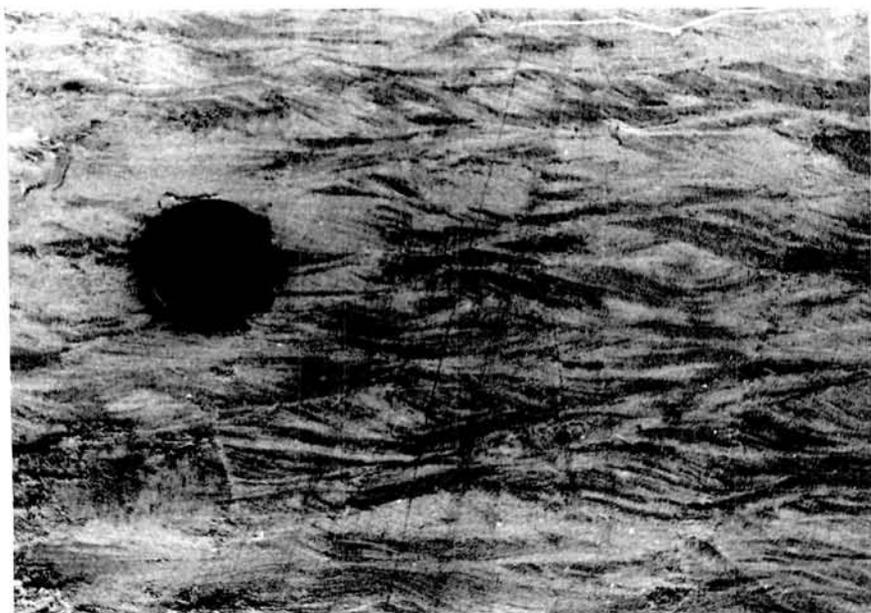


Рис. 9 . Характер слоистости аллювиальных отложений поздне-хазарского возраста (черноярские пески, обнажение у пос.Светлый Яр /сл.№5/).

нарушениями, составляет около 0,3-0,4 м.

5. Пески косослоистые, коричневые, ожелезненные (рис. 9). Мощность около 1,0 м. На границе с подстилающими отложениями прослеживается прослой сильно ожелезненных песков, бурых, слабосцементированных. Мощность 0,05 м, иногда более.
6. Пески от серо-коричневых до коричнево-желтых, мелкозернистые, пылеватые, косослоистые, косая слоистость подчеркивается переслаиванием тонких прослоев песка и глин. Видимая мощность около 1,0 м.

Далее склон закрыт оползневыми и делювиальными отложениями.

Высота склона от 23 до 25 м, в основании залегают супеси и суглинки серые, серо-коричневые, по-видимому, нижнехазарские отложения.

Район поселка Черный Яр на Волге характеризуется хорошей обнаженностью на протяжении многих километров. Солянокупольной тектоникой на поверхность выведены бакинские и все более молодые отложения. Хорошая обнаженность, позволяющая проследить взаимоотношения различных горизонтов и свит, привлекала к себе практически всех исследователей Поволжья. Поэтому, Черноярский разрез плейстоценовых отложений является наиболее изученным, хотя и одним из сложных на Нижней Волге. Наши исследования, проводимые в 1980 и 1983 годах, а также анализ литературных источников, позволяет представить геологическое строение Черноярского разреза в следующем виде (рис. 10):

e Q_{III-IV} I. Супеси, пылеватые пески желто-коричневого цвета, в обнажении сухие-слабовлажные, имеют сплошное распространение. Горизонт образован, по-видимому, в результате выветривания и почвообразования подстилающих

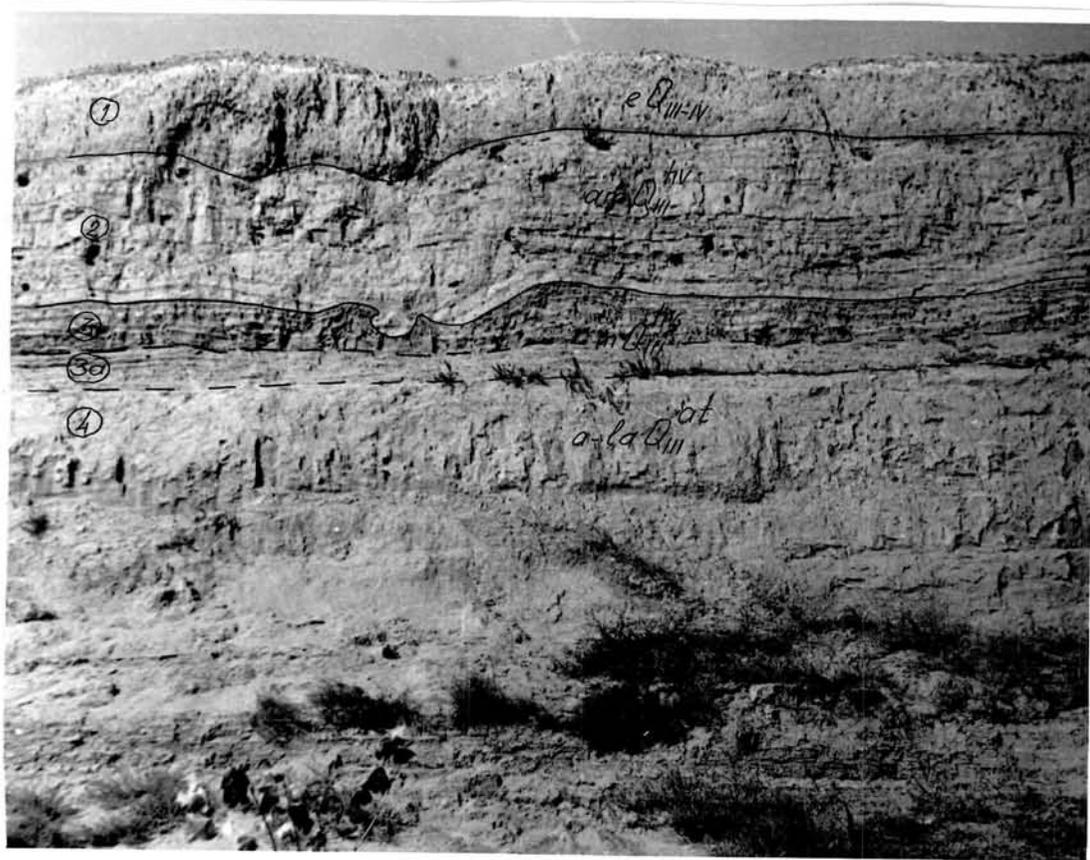


Рис. 10. Строение верхней части четвертичных отложений у пос.Черный Яр (правый берег р.Волги). В кровле шоколадных глин /сл. №3/ хорошо видно палеомерзлотное нарушение слоистости в виде "мерзлотного котла".

пород. Мощность от первых сантиметров до 1,2-1,5 м.

1а. Супеси пылеватые, серо-желтые, макропористые, лесовидные, карбонатные, обычно подстилаются почвенным горизонтом коричнево-бурого цвета. Данный слой имеет линзовидное залегание и спорадическое распространение. Мощность до 1,5 - 2,0 м.

ат Q_{III}^{kv1} 2. Пески пылеватые, серо-желтые, влажные, косослоистые (рис. II) с тонкими (до 1-2 см) прослоями бурого суглинка: вверху - расстояние между прослоями суглинка от 0,2 до 0,3 м, внизу - от 0,05 до 0,15 м. Мощность от 1,5 до 2,5 м.

м Q_{III}^{kv1} 3. Глины шоколадные, суглинки бурые, супеси желто-коричневые. Преобладают глины, которые образуют самостоятельные прослои мощностью от 0,05 до 0,5 м, между прослоями наблюдаются суглинки и супеси косослоистые. Глины трещиноватые, пластинчатые, по слоям часто наблюдается тонкая присыпка пылеватого материала, содержит фауну моллюсков. Мощность слоя от 1,0 до 1,5 м.

3а. В отдельных местах под слоем глин встречаются линзы и прослои песка и супеси, реже суглинка, с большим количеством ракуши моллюсков. Мощность до 0,15 м, реже до 0,30 м.

ат Q_{III} 4. Суглинки серо-коричневые, палевые, зеленовато-коричневые, влажные, полутвердые, макропористые с вертикальными трещинами, по трещинам ожелезненные и омарганцованные, встречаются линзы и гнезда песков мелкозернистых, желтых, ожелезненных. Мощность от 1,0 до 3,0 м. Кровля суглинков разрушена морозобойным растрескиванием и почвообразованием. К основанию слоя суглинки

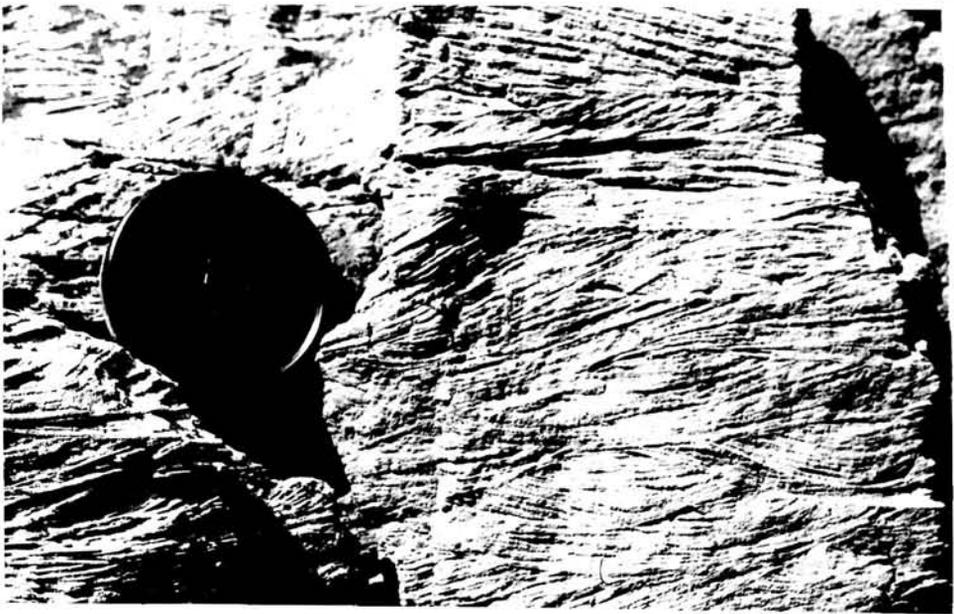


Рис. II . Слоистость ряби течения в аллювиально-морских отложениях (обнажение у пос.Черный Яр /сл. №2/).

постепенно опесчаниваются и переходят в слой 5.

5. Пески мелко-тонкозернистые, светло-серые, желто-серые, волнисто-косослоистые, прослоями ожелезненные, влажные. Мощность от 0,5 до 1,5 м. На границе с подстилающими отложениями прослеживается выдержанный слой сильно ожелезненных бурых песков, слабосцементированных. Мощность до 0,02 м (рис. 12).

αQ_{11}^{h22} 6. Пески серые, желто-коричневые, слоистые (диагональная слоистость), слои наклонены по течению Волги, прослойки песков разделены глинистыми прослоями бурого цвета, мощностью до 0,005 м. Мощность прослоев песков от 1,5 до 2,0 м.

$m Q_{11}^{h21}$ 7. Переслаивание суглинков и супесей зелено-коричневых. Суглинки трещиноватые, по трещинам омарганцованные. В нижней части пачки наблюдается смятие и разрыв слоев суглинка. Видимая мощность пачки от 6 до 8 м. Слои пачки близ свода соляного купола имеют падение юг-юго-восток. Нижняя часть слоя закрыта склоновыми отложениями.

αQ_{11}^s 8. У уреза воды обнажаются синие, сине-зеленые глины с растительными остатками. Граница с подстилающими отложениями волнистая, на границе слабое ожелезнение. По-видимому, это сингильские отложения. Видимая мощность около 0,5 м.

$m Q_{11}^b$ 9. Глины черные трещиноватые, влажные, полутвердые, слоистые, с фауной моллюсков, слои падают на юг-юго-восток. Видимая мощность от 1,0 до 2,0 м.

Подробное изучение разрезов четвертичных отложений Нижнего Поволжья показало, что в основании ательских пород хорошо просле-

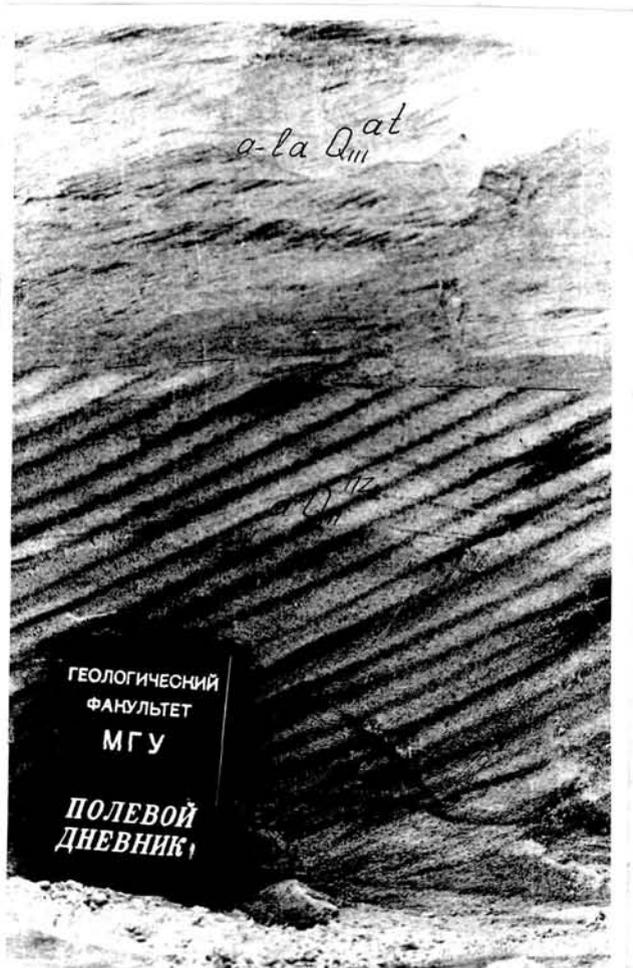


Рис. 12 . Характер контакта ательских и хазарских (черноярских) песков (оонажение у пос.Черный Яр /сл. №5 и №6/).

живается микулинская погребенная почва, несущая на себе следы древних мерзлотных процессов (рис. 8, I5). Однако характер нижней границы ательских отложений определяется условиями размыва подстилающих отложений в послемиккулинское время. Так, в районе Черного Яра микулинская почва сохранилась лишь на тех участках, где её материнской породой служили нижнехазарские суглинки и глины, а на контакте ательских (ахтубинских) и черноморских песков прослеживается лишь плотная, бурая, сильно ожелезненная корка (рис. I2), что, возможно, служит аргументом для утверждения "тесной связи" ательских и хазарских отложений /22, I74, I76, 38 и др./, а также причисления ательских отложений к хазарскому ярусу /22,58, II2, 64, II3 и др./. Подробно разобрав эту проблему в предыдущих главах, нет необходимости еще раз останавливаться на ней, но следует указать, что стратиграфические критерии проведения нижней границы ательских отложений А.И.Москвитина /II0/ хорошо согласуется с нашими исследованиями.

Сопоставление событий, происходивших в ательское и хвалынское время в Северном Прикаспии, с развитием оледенения на Восточно-Европейской платформе возможно благодаря универсальному действию климата континентальных оледенений на процессы осадко-накопления во внеледниковых областях. Надежная геологическая увязка событий в ледниковой области с хронологией плейстоцена Северного Прикаспия, дополненная изучением споро-пыльцевых спектров отложений и следов палеомерзлотных процессов, позволяет с достаточной уверенностью говорить о палеогеографических условиях ательского и хвалынского веков.

Как ни велика роль климата в установлении хронологии ледниковой и внеледниковой зон, вполне достоверная увязка их между собой возможна лишь по путям стока вод /43, II0, 23, 77, 7I/.

А.И.Москвитин /IIО/, а затем и Г.И.Горецкий /43/, указывают на определенное сходство "ахтубинского" аллювия с перигляциальным аллювием более древних террас. Ательские отложения соответствуют по возрасту времени формирования II террасы (по А.И.Москвитину и Г.И.Горецкому) или II террасы высокого уровня (по Ю.М.Васильеву и А.В.Кожевникову) или аллювия III террасы (по М.Н.Грищенко и В.Л.Яхимович) /23, 43, 71, 72, 62/.

Нерешенность вопроса об индексации террас реки Волги и ряда других рек усложняет корреляцию результатов геологических исследований различных авторов, тем не менее большинство придерживается мнения о замещении аллювия II террасы (по А.И.Москвитину) вверх по течению флювио-гляциальными отложениями и далее мореной калининского оледенения. Такое замещение перигляциального аллювия водно-ледниковыми и ледниковыми отложениями происходит по наблюдениям Ю.М.Васильева несколько выше Ярославля /23, 25/, а по А.И.Москвитину у Костромы. На Нижней Волге формирование II террасы (по А.И.Москвитину) закончилось затоплением её и образованием длинного Волжского лимана раннехвалынского бассейна, отложившего поверх аллювия толщу шоколадных глин /9, IIО, 23, 43, 71, 72, 174, 176, 62/. Таким образом, формирование аллювия II террасы, тесно связанного с ательскими отложениями, и начало раннехвалынской трансгрессии не разделены каким-либо существенным перерывом /176/, хотя в отдельных разрезах на границе хвалынских и ательских отложений наблюдается некоторый размыв (см. ниже).

Изучение строения аллювия II террасы за пределами раннехвалынской аккумулятивной равнины и ательских отложений, а также их сопоставление было проведено на обнажениях и в бортах карьеров кирпичных заводов в долине реки Большой Узень, прореза-

ющей возвышенность Общий Сырт и север Прикаспийской низменности.

Левый берег реки Большой Узень у поселка Русская Таловка в обрыве высотой 9 м сверху вниз обнажаются (рис. 13):

pd Q_{IV} 1. Современный почвенно-растительный слой. Суглинки темно-коричневые, серо-коричневые, сухие. Мощность около 0,10 м.

2. Лессовидные суглинки желтые - желто-коричневые, макропористые, слабовлажные, рыхлые, трещиноватые. В суглинках наблюдаются старые норы грызунов. Мощность около 0,9 м.

pd Q_{III}² 3. Пачка суглинков того же цвета и состава с тонкими прослоями до 0,02 м гумусированных серо-черных суглинков. Вся пачка содержит равномерно рассеянные мелкие до 0,5 см карбонатные желваки. Мощность до 0,8 м.

4. Суглинки темно-коричневые, черные, слабовлажные, макропористые, в нижней части коричневые, карбонатные, наблюдаются многочисленные желваки, конкреции, стяжения карбонатов; внешне напоминают иллювиальный горизонт черноземных почв ("белоглазка"). Мощность гумусированного слоя 0,10-0,15 м, мощность карбонатного слоя - 0,05-0,10 м. Общая мощность - 0,20 м.

pd Q_{III}¹ 5. Суглинки черные гумусированные, слабо влажные, с небольшим количеством раковин пресноводных и наземных моллюсков. Мощность 0,4 м.

6. Слой 5 постепенно переходит в суглинки коричневые, темно-коричневые, пятнами белесые (примазки карбонатов), с небольшим количеством карбонатных стяжений и конкреций (то же, что и слой 4). Мощность 0,3-0,4 м.

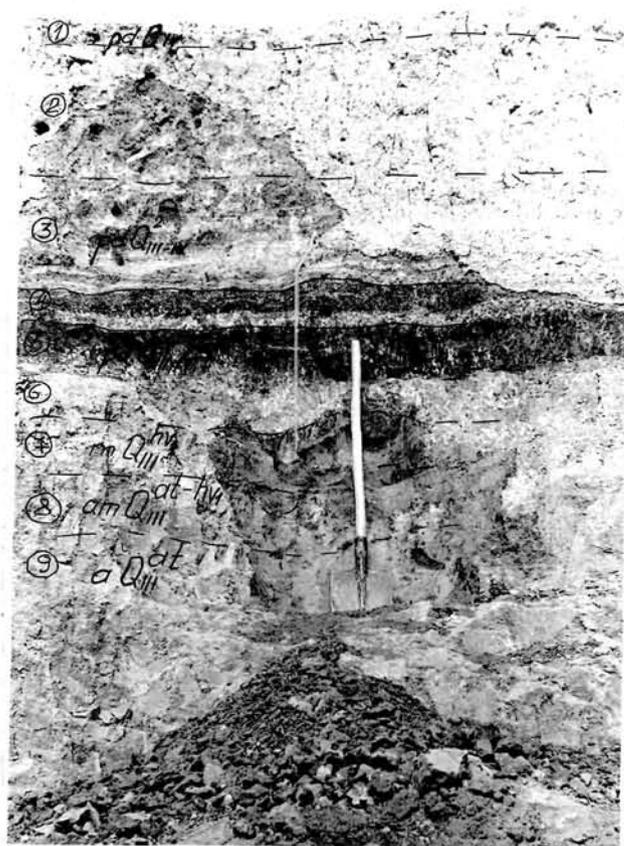


Рис. 13 . Строение разреза четвертичных отложений ранне-хвалынской аккумулятивной равнины у пос.Русская Таловка (левый берег р.Большая Узень).

Граница с подстилающими отложениями нечеткая.

$m Q_{III}^{kv_1}$ 7. Суглинки желтые, желто-коричневые с большим количеством ракуши морских моллюсков. Мощность от 0,2 до 0,3 м.

В основании слоя 7 прослеживается выдержанный горизонт мощностью от 0,01 до 0,05 м, состоящий нацело из створок раковин морских моллюсков. Среди раковин, собранных с площади 10 кв. см, М.Б.Чернышовой (кафедра палеонтологии геологического факультета МГУ) определены:

<i>Dreissena rostriformis</i>	- преобладает
<i>distincta</i>	
<i>Didacna protracta</i>	10 штук
<i>Didacna parallela</i>	10 штук
<i>Monodacna caspia</i>	5 штук
<i>Всего</i>	60 штук.

В целом комплекс фауны моллюсков можно охарактеризовать как нижнехвалынский.

$am Q_{III}^{at-kv_1}$ 8. Суглинки серо-коричневые, слабовлажные, макропористые, пятнами ожелезненные, часто в суглинках встречаются тонкие прослойки и линзы песков; на отдельных участках наблюдается слоистость "ряби течения", характерная для аллювиальных отложений, в верхней части наблюдаются рассеянные отдельные раковины хвалынских моллюсков. Макропоры, характерные для этого слоя, имеют серые, серо-зеленые стенки, по-видимому их формирование связано с развитием корневой системы растений. Граница с подстилающими отложениями неровная, прослеживается не везде, имеет небольшой наклон к югу, вследствие чего мощность пачки изменяется от 0,4 до 1,5 м.

$a Q_{III}^{at}$ 9. Суглинки и супеси коричневые, желто-коричневые, песчаные, макропористые (характер строения макропор ана-

логичен вышеописанному), слоистые; слоистость тонкая горизонтальная, местами косая, пятнами ожелезненная.

Вскрытая мощность 1,0 м.

Далее склон закрыт осыпью. У уреза воды обнажаются пески и супеси косослоистые желто-коричневые. На правом берегу реки Большой Узень напротив описанного обнажения изучено основание данного разреза, в котором хорошо прослеживается как суглинки и супеси слоя 9 постепенно переходят в косослоистые супеси и пески того же цвета. Следовательно, можно говорить, что они слагают единую пачку.

Правый берег реки Большой Узень, карьер кирпичного завода в 2,0 км южнее г. Новоузенск. В карьере сверху вниз обнажаются:

- pd Q_{III-IV}* 1. Почвенно-растительный слой. Суглинки темно-коричневые, к низу постепенно становятся светло-коричневыми, сухие, рыхлые, сильно трещиноватые. Мощность до 0,5 м.
- lv₁*
tz Q_{III} 2. Супеси желтые, желто-коричневые, макропористые, рыхлые, слабовлажные. Мощность около 0,5 м. По неровному контакту супеси переходят в суглинки.
3. Суглинки коричневые до бурого, сильно трещиноватые, образуют в нарушенном состоянии мелкощебнистую - дресвяную осыпь; с глубины 1,90 м становятся влажными, полутвердыми, трещиноватость уменьшается. В целом для этого слоя характерно интенсивное ожелезнение по трещинам и слабое омарганцование. Мощность 1,3 м. Контакт с нижележащими отложениями неровный.
- a Q_{III} (at)* 4. Суглинки серо-коричневые, слабоожелезненные, макропористые, лессовидные, влажные, тугопластичные вверху и пластичные внизу. Участками наблюдается косая слоистость, подчеркиваемая прослоями мелко-тонкозернист-

того песка, желтого цвета и супеси буро-коричневой, ожелезненной. Отмечено наличие мелких гипсовых конкреций. Суглинки в нижней части имеют точечно-пятнистый вид, вследствие омарганцования и ожелезнения по макропорам. Видимая мощность 2,0-2,10 м.

Общая глубина карьера 4,5 м, на этом уровне наблюдаются выходы грунтовых вод.

Правый берег реки Большой Узень, вторая надпойменная терраса южнее пос. Крепость-Узень. Аллювиальные отложения 2^{ой} надпойменной террасы представлены суглинками лессовидными желто-коричневыми, макропористыми, по макропорам ожелезненными омарганцованными, в крупных порах наблюдаются остатки растений, видимая мощность от 2 до 5 м. Высота террасы в точке наблюдения около 6 м, основание закрыто оползневыми телами. Лессовидные суглинки на отдельных участках перекрыты сильно трещиноватыми суглинками бурого цвета с редкой фауной морских моллюсков. Мощность морских отложений не превышает 0,05 м. Почвенный горизонт имеет мощность от 0,05 до 0,30 м.

Из приведенных описаний видно, что нижнехвалынские морские глины и суглинки прослеживаются довольно далеко за пределами Прикаспийской впадины по долине реки Большой Узень, где они перекрывают аллювиальные лессовидные суглинки и супеси. Ательские отложения и аллювий II террасы обладают несомненным сходством, общими являются: цвет, макропористость и характер строения макропор, наличие косо-волнистой слоистости (рис. 4I), опесчанивание нижней части разрезов. Таким образом, ательские отложения в северных районах Прикаспийской впадины фациально связаны с аллювиальными отложениями II террасы, а через них с лессовидными суглинками водоразделов /I28, 22,25/.

Ательские отложения Северного Прикаспия пользуются широким, почти повсеместным распространением. Залегание ательских отложений на разновозрастных элементах рельефа и различных по возрасту отложениях, хорошо видно на схематическом геологическом разрезе Волго-Уральского междуречья, опубликованным В.Н.Синяковым /157/, такие условия залегания позволили Ю.М.Васильеву высказать мнение о том, что ательскими называются разновозрастные, но внешне однотипные породы /24, 25/. Ошибочность подобного рода представлений была подробно разобрана А.И.Москвитиним на примере стрения III террасы на реке Большой Караман /110, стр.103/.

Условия залегания, специфический литологический состав, уменьшение мощности ательских отложений с севера на юг и вдоль долины р.Волги и других рек, наличие различных мерзлотных нарушений, развитых от кровли до подошвы (см. ниже), фациальная связь ательских отложений с аллювием II террасы и зандрами калининского оледенения позволяют рассматривать ательские отложения как перигляциальный аллювий калининского возраста.

Сравнение строения "нормального" и перигляциального аллювия, проведенное рядом исследователей /25, 43, 110, 183, 184, 185, 137, 80, 82 и др./, показывает, что в перигляциальной зоне происходили качественно другие процессы формирования земной поверхности. Анализируя условия залегания перигляциального аллювия, его состав, выраженность фаций, можно полагать, что строение долины Волги отличалось от современного. В работе Э.И.Равского /137/, высказывается мнение о том, что в перигляциальной долине речной поток распадается на систему фуркирующих русел, способных вместить значительные массы воды, перегруженные обломочным материалом. По мнению Г.И.Горецкого гидрологический режим водоема,

напоминал в известной мере режим половодий на поймах рек, с плоским потоком и относительно замедленным течением. "Режим половодья в перигляциальных бассейнах был длительным, ритмически пульсирующим в зависимости от интенсивности таяния ледника, прерывистым. Перигляциальный бассейн находился в условиях длительного половодья, приуроченного к древним долинам, но залившего при наивысших разливах и пониженные водоразделы." /42, стр. 16/. Подобная ритмичность (прерывистость) в строении толщи ательских отложений отмечена нами в разрезах раннехвалынской аккумулятивной равнины в верховьях реки Ахтубы (рис.3). Длительные половодья и перегруженность ледниковых рек обломочным материалом приводили к выработке ими обширных пойм, прорезанных многочисленными протоками и рукавами. Большая пропускная способность последних приводила к тому, что поймы заливались редко, а пойменный аллювий оказался недоразвитым /183, 82, 137 и др./. Несколько иного мнения придерживаются Г.И.Горецкий и Ю.М.Васильев, которые считают, что перигляциальный водоём не был рекой, воды его не выработывали новой долины, не формировали русла и поймы. Здесь не наблюдается дифференциация типов течения, а в связи с этим не было условий для накопления аллювия с его закономерным сочетанием фаций /25/. Перигляциальный аллювий не поддается делению на фации, различия между пойменной и русловой фациями не существенны /42, 43, 136/. Так в каждой пачке (ритме), слагающей ательскую толщу, мы наблюдаем в основании пески мелкозернистые-тонкозернистые косо-волнистослоистые, слоистость типа ряби течения /82, 184/, которые постепенно вверх по разрезу сменяются неслоистыми лессовидными супесями, а затем суглинками. Литологически разделить такую пачку практически невозможно, она представляет собой единый комплекс, отражающий определенный

ритм в накоплении толщи. Почти все исследователи отмечают значительную перегруженность равнинных рек ледникового питания обломочным материалом, обусловившую несколько повышенное накопление аллювия, что отразилось в констративном типе /по I83/ его строения. Одновременно перегруженность вод обломочным материалом обусловила преобладание процессов аккумуляции над эрозией. Практически повсеместное нахождение и относительно хорошая сохранность микулинских почв под ательской толщей в Нижнем Поволжье (см. выше) показывает, что эрозионное воздействие на них либо отсутствовало, либо было незначительным. Исключения составляют участки, где размыву подвергались черноморские пески (см. описание обнажения у поселка Черный Яр). На строении аллювия рек перигляциальных областей отражалось не только ледниковое питание, но, очевидно, и климатическая обстановка этой зоны /82, I83, 25, 42/, которая явилась решающим фактором, повлиявшим на тип гидрологического режима рек. Формирование повышенных мощностей аллювия в ательское время, по-видимому, было обусловлено не только ледниковым питанием и климатическими причинами. Известную роль могли играть устойчивые отрицательные неотектонические движения, также приводящие к формированию аллювия констративного типа /82, I84, I85/.

Ательские отложения наибольшей мощности (до 20 м) приурочены к современной Волго-Ахтубинской долине (рис. I4), на водораздельных пространствах Волго-Уральского междуречья, в долинах рек Большого и Малого Узенья мощность ательских отложений не превышает 5-7 м /I30, I3I и др./. Очевидно, в ательское время вследствие похолодания климата и активизации отрицательных тектонических движений произошло быстрое заполнение долины хазарской Вол-

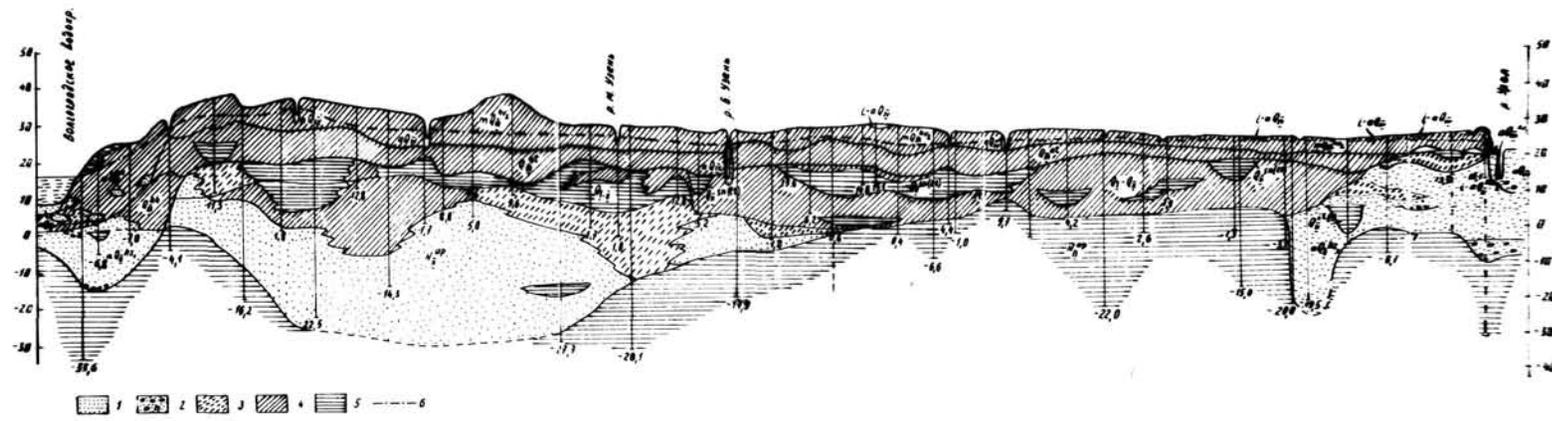


Рис. 14 . Схематический разрез четвертичных отложений через северную часть Прикаспийской низменности по В.Н.Синякову /157/. 1 - пески, 2 - глины с галькой, 3 - супеси, 4 - суглинки, 5 - глины, 6 - уровень грунтовых вод в четвертичных отложениях.

ги перигляциальным аллювием, дальнейшее опускание этой части Северного Прикаспия и сохранение перигляциальной обстановки обусловило накопление ательских отложений на обширных пространствах Волго-Уральского междуречья. Полное или частичное отсутствие, их сокращенные мощности наблюдаются лишь в районах устойчивых положительных неотектонических движений (горы Богдо, район озер Эльтон, Баскунчак, Индер, Челкар и др., район Джаныбекского "останца"). В районах развития соляных куполов, таких как Черноярский на Нижней Волге и Кара-Оба на Малом Узене, ательские отложения сокращены в мощности или присутствуют только на периферических частях поднятий.

С перигляциальным характером ательских отложений хорошо согласуются многочисленные "следы" проявления мерзлотных процессов, развитых от кровли до подошвы. Очень детально и подробно эти нарушения изучены Ю.М.Васильевым /19, 22/, А.И.Москвитиным /110/, Б.А.Федоровичем /177/, имеются сведения о них и у других исследователей /43, 174, 183/. Начало накопления ательских отложений совпало с началом калининского оледенения, с установлением перигляциальных условий в Северном Прикаспии. Первая волна холода отмечена многочисленными морозобойными трещинами, нарушением слоистости в кровле верхнехазарских отложений.

У поселка Средняя Ахтуба на левом берегу реки Ахтубы наблюдается погребенная микулинская почва, пронизанная морозобойными трещинами, которые выполнены вышележащими ахтубинскими песками. Здесь же в верхней части ахтубинского аллювия прослежена тундровая почва /110/.

У поселка Черный Яр на правом берегу Волги в ахтубинских песках прослежена оригинальная изогнутая и измятая слоистость в слое мощностью до 1,3 м, сверху и снизу ограниченном горизон-

тальными слоями. Такую слоистость принято считать следствием мерзлотных смещений грунта, синхронным осадконакоплением, проявившихся при сезонном оттаивании на глубину 1,5-2,0 м /IIО/. Кроме этих деформаций наблюдаются псевдоморфозы ледяных клиньев /I9/. Ширина клиньев в верхней части до 0,75 м, глубина до 1,5 м. Этот горизонт мерзлотных "смятий" хорошо отделяет ательские отложения от хазарских. Сходные образования на контакте ательских и хазарских отложений известны в районе поселков Нижнее Займище, Райгород и Никольское /I9, IIО, 43/.

У южной окраины поселка Светлый Яр в основании ательских отложений встречен горизонт микулинской почвы, представленный супесями зеленовато-серыми, ожелезненными, нарушенными мерзлотными процессами. Ожелезнение подчеркивает характер мерзлотных нарушений (рис. 8). В супеси встречены три небольших мерзлотных клина, длиной от 0,4 до 0,5 м и шириной от 0,1 до 0,3 м. Мощность слоя, захваченного мерзлотными нарушениями около 0,4 м.

В основании толщи ательских отложений в обнажении южнее рабочего поселка г. Волжского на р. Ахтубе встречены мерзлотные клинья, один из которых подробно описан. Клин длиной около 0,8 м и шириной по верху около 0,15-0,20 м выполнен суглинками желто-бурыми, интенсивно ожелезненными, содержит небольшие гнезда песков мелкозернистых сильноожелезненных. О мерзлотном происхождении клина свидетельствует сильное смятие слоев в основании клина (рис. 15). Клин пронизывает серые супеси и суглинки, представляющие собой потребенную микулинскую почву (рис. 3А, слой 6).

В кровле ательских отложений также встречены различные нарушения мерзлотного характера. Многие из них описаны в литературе /I9, 22, 43, IIО и др./. Два из них изучены автором на левом берегу реки Ахтубы в 1 км выше поселка Средняя Ахтуба (рис.



Рис. 15. "Мерзлотный клин" в основании отложений ательского горизонта.

16). В одной псевдоморфозе пройден шурф глубиной 1,6 м и отобраны образцы для анализов (рис. 17). Псевдоморфозы по ледяным жилам выполнены суглинками темно-коричневыми, твердыми, сухими, макропористыми; горизонтальная слоистость отсутствует, наличие какой-либо другой слоистости не наблюдается. Суглинки комковатые, сильно крошатся в верхней части, пронизаны корнями растений, содержат раздробленные тонкостворчатые раковины хвалынских моллюсков. Клинья почти на 4 м пронизывают кровлю ательских пород, ширина от 2,5 до 4 м. Правый (на схеме) клин преобразован в котел, здесь наблюдается довольно четкий изгиб ательских слоев. Описание строения ательской толщи проведено выше (рис. 3Б). Расстояние между клиньями 28-30 м, это соответствует среднегодовой температуре пород - 4° - 5° С.

Для всех образцов, отобранных из шурфа (рис. 17), определены химические анализы состава. Для образцов №3 и №4 сделаны рентгеноструктурные анализы по определению состава глинистых минералов. Сравнение состава суглинков, выполняющих псевдоморфозу, с нижнехвалынскими шоколадными глинами показало, что все образцы содержат больше карбонатов и доломитов и являются менее засоленными. Образцы №1,4,5 хорошо сопоставляются с выветрелыми хвалынскими глинами, т.к. сами являются наиболее выветрелыми. Образцы №2 и №3 из внутренних частей клина резко отличаются по своему химико-минеральному составу от шоколадных глин (таблица 5).

Можно предположить два пути образования этих клиньев.

Один из них: это клинья по повторно-жильным льдам полигональной решетки, развитой в предхвалынское время в кровле ательских лессовидных пород, - клинья "замещения" по Н.Н.Романовскому /138/.

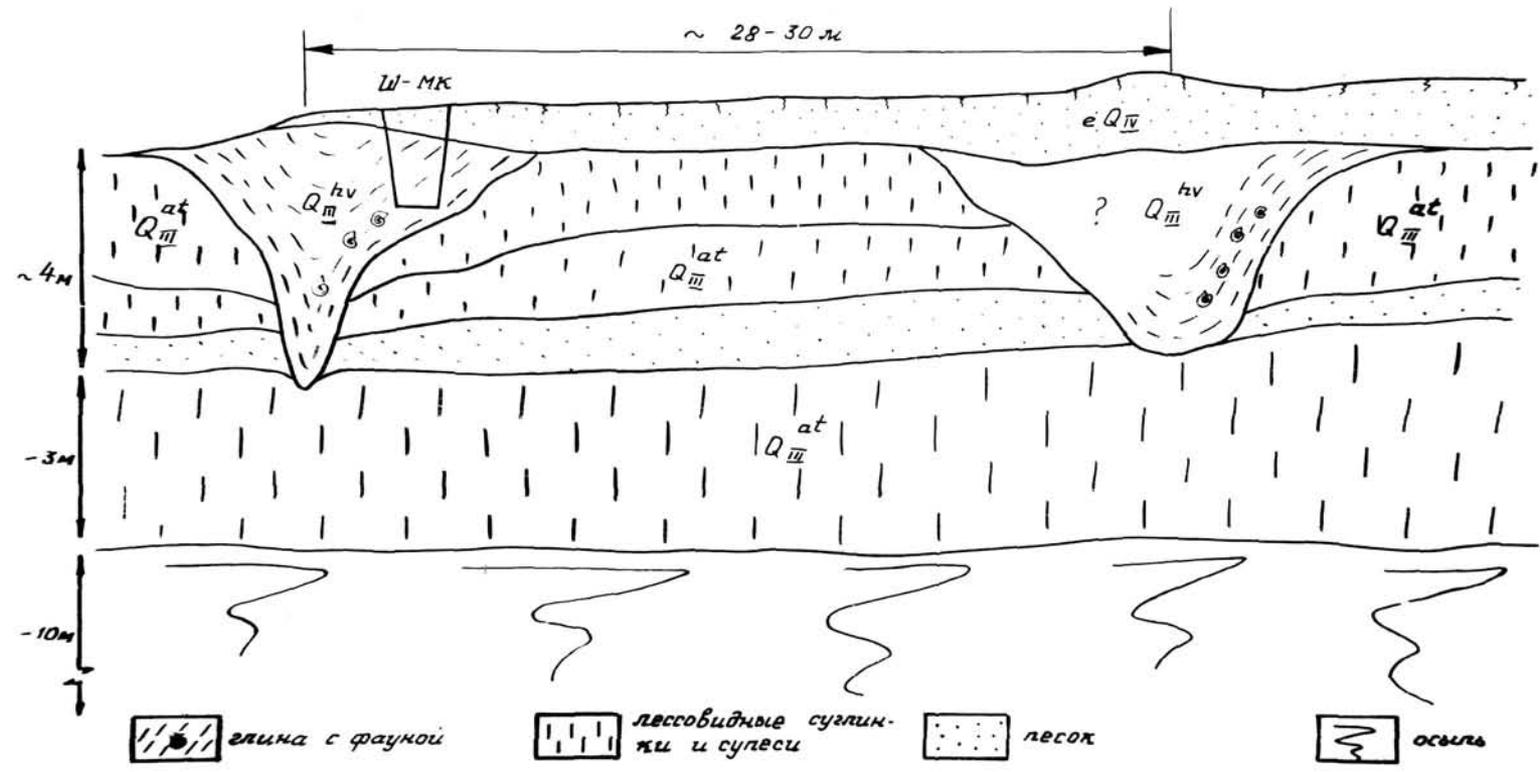


Рис. 16 . Схематическая зарисовка мерзлотных деформаций в кровле ательских пород.

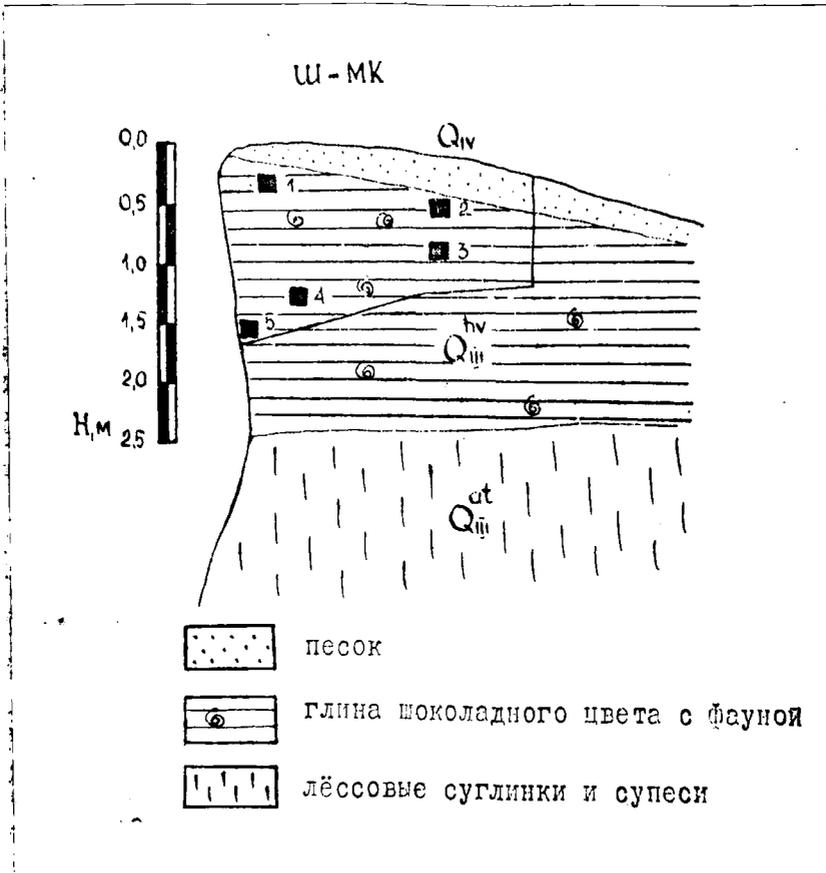


Рис. 17. Схема отбора образцов из шурфа Ш-МК, пройденного в псевдоморфозе по повторно-жильному льду.

Таблица 5

Результаты анализов соляно-кислых вытяжек (%)

№ п/п	Номер образца	Глубина отбора, м	Генезис	R_2O_3	CaO	MgO	MnO	nnn	no	Σ	FeO
1	МК-1		Отложения, выпол- няющие псевдомор- фозу по ледяной жиле	6,30	4,11	1,80	0,08	10,60	74,86	97,75	сл
2	МК-2			7,60	3,04	1,29	0,08	10,40	75,44	97,85	0,07
3	МК-3			7,20	1,79	1,54	0,08	9,06	77,74	97,41	0,07
4	МК-4			6,60	4,29	1,80	0,08	10,04	75,10	97,91	0,07
5	МК-5			5,90	4,11	1,54	0,08	10,32	76,66	98,61	0,14
6	МК-6	0,8	Хвалынская шоколадная глина, карьер Заплавное	3,85	4,29	1,80	0,07	8,18	81,12	99,37	0,14
7	МК-7	0,9		7,25	4,29	2,19	0,09	10,94	72,94	97,70	сл
8	МК-8	1,0		7,85	2,68	2,06	0,05	11,30	73,98	98,09	0,43

Второй: это клинья полигональной решетки, образовавшейся после регрессии раннехвалынского бассейна.

Фактический материал свидетельствует в пользу второго предположения. Подробнее этот вопрос будет разобран при рассмотрении палеогеографических условий в позднехвалынское время, когда изучаемая территория освободилась от вод раннехвалынского бассейна.

Литологические следы мерзлоты, перигляциальный характер ательских отложений хорошо согласуется с результатами споропыльцевых анализов, а также с данными, полученными и опубликованными рядом исследователей /ИЮ, 19, 22, 25, 43, 62, 63 и др./.

Ательские отложения охарактеризованы травяными спектрами, по мнению М.Б.Чернышовой, проводившей определение видового состава спор и пыльцы, малочисленность пыльцы и спор не позволяет однозначно интерпретировать палеоландшафт Северного Прикаспия в ательское время. Присутствие пыльцы хвойных делает травяные спектры, по мнению А.И.Москвитина /ИЮ/, скорее тундровыми, чем степными. Однако пыльца хвойных растений в наших споропыльцевых спектрах является, по-видимому, переотложенной. При проведении споропыльцевых анализов М.Б.Чернышова отметила, что пыльца хвойных сильно кородирована с поверхности, плохо поддается определению и является скорее дочетвертичной. Анализ строения макропор (см. описание разреза у поселка Русская Таловка на реке Большой Узень) наличие в них остатков сгнивших корней растений, находки остатков травяных растений /130, 132/ свидетельствуют в пользу развития в Северном Прикаспии степей, но степей перигляциальных, не имеющих аналогов в настоящее время /25/, что хорошо согласуется с относительным изменением теплообеспеченности и увлажненности в ледниковье (рис. 18).

Изменение климатических условий в сторону похолодания на

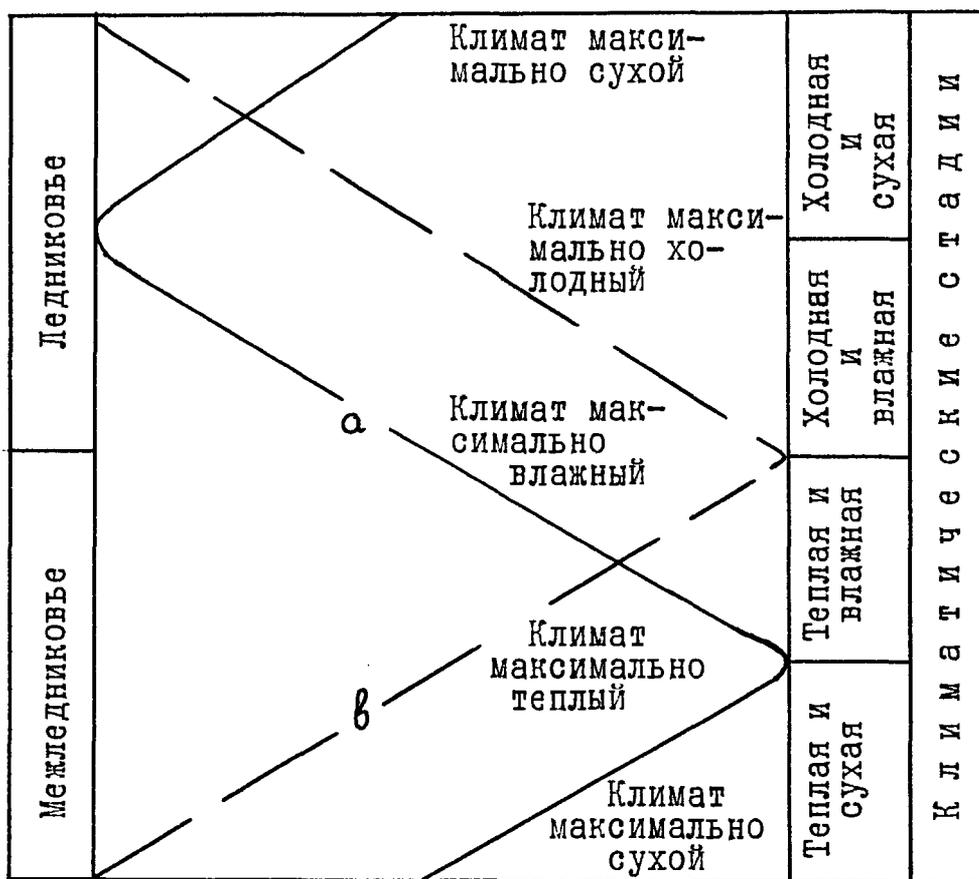


Рис. 18. Относительные изменения главных климатических показателей: теплообеспеченности (а) и увлажненности (в) в ледниковье и межледниковье (по М.П.Гричук и В.П.Гричук /46 /).

рубеже хазарского и ательского веков отмечено в значительном обеднении хазарского фаунистического комплекса (см. гл. I).

Рассматривая ательские отложения в целом, необходимо еще раз подчеркнуть следующее:

1. Отложения ательской свиты представлены континентальными образованиями преимущественно аллювиального генезиса.

2. В строении ательской толщи наблюдается определенная закономерная ритмичность, каждый ритм начинается мелкозернистыми-тонкозернистыми песками, постепенно вверх сменяющимися лессовидными супесями и суглинками. В разрезах ательских отложений выделяются от одного до трех ритмов.

3. Специфические особенности состава, строения ательских отложений, залегание на различных элементах рельефа, холодные климатические условия времени формирования ательских отложений, подтверждающиеся палинологическими, фаунистическими данными, наличием многочисленных мерзлотных деформаций, позволяют с уверенностью рассматривать ательские отложения как перигляциальный аллювий.

4. Ательские отложения, выделенные П.А.Православлевым /I30, I31, I32/, пользуются широким распространением в Северном Прикаспии и занимают повсеместно четкое стратиграфическое положение между морскими верхнехазарскими и нижнехвалынскими отложениями, а в районах, где верхнехазарские морские отложения отсутствуют, отделены от их континентальных аналогов почвами или размывом.

2.2.2. Хвалынский век.

Отложения самой обширной трансгрессии Каспийского моря, сформировавшейся сразу же после завершения накопления ательской свиты, были выделены П.А.Православлевым, по предложению Н.И.Анд-

русова, в качестве хвалынского яруса /I29/. Накопление этих отложений связано с неоднократными осцилляциями Каспийского моря, оставившего следы в виде террас и береговых валов на абсолютных отметках плюс 45-48 м, плюс 20-25 м и около 0 м. Литологическая разнородность на разных стратиграфических уровнях и геоморфологические данные нередко служили основанием для расчленения хвалынских отложений /I32, 22, 58, I24, I25, I6 и др./.

В настоящее время большинство исследователей придерживаются двухчленного деления хвалынского горизонта /IIО, I43, I44, I46, I7, I74, I76, 62, 63, 66, 72, 95, 96 и др./.

Ряд исследователей на основе условий залегания шоколадных глин и выделения промежуточной террасы плюс 20-25 м подразделяют хвалынскую трансгрессию на три самостоятельные трансгрессивные фазы /22, 43, I23, I24, I25, I6, 2I/. Наиболее последовательно эту точку зрения отстаивает Ю.М.Васильев, который расчленяет нижнехвалынские отложения, в понимании П.В.Федорова, на два горизонта, разделенных континентальными эльтонскими слоями /22, стр.65/. На наш взгляд, выделение эльтонских слоев в области активной солянокупольной неотектоники и использование трехчленного деления хвалынского горизонта для всего Северного Прикаспия имеет несколько условный характер. Более обоснованной представляется первая точка зрения /IIО, I74, I76, I7, I43 и др./.

В Северном Прикаспии нижнехвалынские морские отложения залегают непосредственно на поверхности низменной равнины. По их распространению видно, что раннехвалынская трансгрессия захватывала всю территорию Прикаспийской впадины. На склонах прилегающих возвышенностей сохранились остатки абразионно-аккумулятивных террас, а по долинам рек Волги, Урала, Узеней и других раннехвалынское море глубоко внедрялось ингрессионными заливами в

пределы этих возвышенностей. Среди толщи нижнехвалыньских отложений Северного Прикаспия максимальной мощностью до 20 м выделяются различные по литологии пачки. Различие в литологическом составе объясняется либо фациальными условиями /IIО, I43, 62, I7, и др./, либо связываются с различными этапами развития раннехвалыньского бассейна /58, I32, 22, 2I, I6 и др./. Основной пачкой нижнехвалыньских отложений является пачка песков и супесей с фауной: *Didacna protracta Eichw.*, *D. ex gr. trigonoides Pall.*, *D. parallela Bog.* /I48, I5I, 97, IO/. Она обычно залегает в нижней части хвалыньской толщи и полностью сдвигает хвалыньские отложения на относительно возвышенных участках Северного Прикаспия. Эти же отложения образуют маломощный покров на самых высоких (плюс 45-48 м) абразионноаккумулятивных террасах. Другой весьма своеобразной пачкой нижнехвалыньских отложений являются так называемые шоколадные глины, тонкослоистые, плитчатые, с подчиненными прослоями пылеватых суглинков, супесей и песков. В обедненном комплексе фауны, характеризующем глины, преобладают: *Monodacna caspia, Eichw.*, *Monodacna edentula Pall.*, *Adacna plicata Eichw.*, *Dreissensia polymorpha* выше упомянутые моллюски встречены лишь в крайне угнетенном виде /95/. Шоколадные глины приурочены главным образом к дохвалыньским понижениям рельефа - древним долинам, лиманам и озерам, они колеблются в мощности до IO-I2 м, в среднем 3-5 м. Среди толщи четвертичных отложений они слагают крупные линзы, кровля глин залегает ниже абсолютных отметок плюс 20-25 м. Толща шоколадных глин приурочена к долинам рек Волги и Урала, по которым они глубоко проникают на север, будучи приуроченными ко второй надпойменной террасе. На междуречье Волги и Урала нижнехвалыньские отложения представлены суглинками, песками и слоистыми глинами, бурыми, желто-бурыми, известковистыми,

загипсованными. К югу они переходят в супеси, а затем в пески. Слоистые глины приурочены к понижениям дохвалынского рельефа. Стратиграфически и генетически отложения эквивалентны шоколадным глинам Волги и Урала. Широкое развитие слоистых глин на различных гипсометрических уровнях не позволяют связать их образование с одним из этапов развития раннехвалынского бассейна, а объясняется определенными условиями, существовавшими в пониженных участках дна прибрежной части моря /I43/. Характерная ленточная слоистость шоколадных глин Нижнего Поволжья /IIО/ также отражает специфические условия осадконакопления в пониженных участках морского дна /I43, I44/. Средняя мощность нижнехвалынских отложений Волго-Уральского междуречья составляет 1,5-4,0 м. Их фациальная изменчивость подробно разобранная и отмеченная еще П.А.Православлевым, проявляется не только на различных гипсометрических уровнях морского дна, но является результатом воздействия неотектонических движений на процессы осадконакопления в раннехвалынском бассейне /IIО/. Однако, распространение таких построений на всю территорию Северного Прикаспия вряд ли правомерно. Показательным в этом отношении является разрез аллювиально-морской террасы раннехвалынского возраста, изученный нами восточнее озера Челкар.

В восточной части Северного Прикаспия отмечен следующий разрез. В обрыве правого берега реки Есенанкаты сверху вниз обнажаются:

- рd Q_{IV}* 1. Суглинки темно-коричневые, темно-серые, сухие, Мощность от 0,10 до 0,30 м.
- e Q_{III-IV}* 2. Лессовидные супеси желтые, желто-коричневые, слабо-влажные, с неясной горизонтальной слоистостью. Мощ-

ность от 2,0 до 2,5 м.

am Q_{III}^{hvi} 3. Переслаивание карбонатных светло-серых, желтых суглинков и мелких серых косослоистых песков; суглинки твердые, трещиноватые, по трещинам слабо ожелезнены. Морфологически, суглинки похожи на мергели. Мощность прослоев суглинков варьирует от 0,05 до 0,15 м, мощность прослоев песка не превышает 0,05 м. Контакт с вышележащей толщей четкий, с подстилающими отложениями прослеживается плохо. Мощность всей пачки от 1,2 до 1,5 м.

a Q_{III}^(at) 4. Карбонатные суглинки постепенно переходят в легкие суглинки и супеси желто-коричневые, желтые, неслоистые, местами песчанистые, карбонатные, имеющие лессовый облик. Видимая мощность около 6 м.

Основание склона закрыто осыпью, высота от 16 до 18 м над уровнем реки.

Изучение минерального состава нижнехвалыньских суглинков с помощью рентгеноструктурного анализа показало, что основным породообразующим минералом является кальцит. Такой своеобразный состав нижнехвалыньских отложений, очевидно, связан с характером приносимого реками материала, образовавшегося в результате выветривания и размыва мела и мергелей позднемелового возраста, которые слагают юго-западные отроги Уральских гор. С достаточной уверенностью и обоснованностью можно утверждать, что состав выделенных пачек нижнехвалыньских отложений в значительной мере определялся гранулометрическим и минералогическим составом приносимых реками осадков. Сходное объяснение ленточно-слоистому строению шоколадных глин дано в монографии А.И.Москвитина /ИЮ/, отмечено рядом других исследователей /143, 176/.

Нижнехвалынские отложения, залегающие на II террасе высокого уровня, довольно тесно связаны с подстилающими их континентальными отложениями. Поэтому можно уверенно говорить, что начало трансгрессии было в век калининского оледенения /23, 109, 77/. В настоящее время появилось значительное количество абсолютных датировок для отложений раннехвалынской трансгрессии, выполненных сотрудниками географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, главным образом, А. А. Свиточем /65, 66, 146/. И хотя возраст раннехвалынской трансгрессии определяется неоднозначно, многочисленные радиоуглеродные и урано-ториевые датировки, дающие возраст 20-9 тыс. лет назад, позволили А. А. Свиточу высказать мнение о более молодом возрасте и меньшей длительности трансгрессии (10-12 тыс. лет). По данным кальций-магниевого анализа А. А. Свиточ, а затем и В. К. Шкатова предполагают примерное равенство температур вод раннехвалынского бассейна и современного Каспия /146, 187/. Это положение находится в противоречии с климатической обстановкой 20-9 тыс. лет назад (главный криогенный максимум плейстоцена наблюдался 18-14 тыс. лет назад), когда среднегодовые температуры понизились до минус 13⁰С /29, стр. 195/.

Анализ ошибок радиоуглеродного метода, подробно выполненный рядом исследователей /15, 18, 135, 147, 155/, показывает особую чувствительность данного метода к различного рода загрязнениям (таблица 6). Неоднозначность толкования получаемых дат, возможные большие ошибки и значительный разброс цифр требует дальнейшего выяснения и осторожного использования результатов для палеогеографических построений, особенно для предельных дат /176, стр.3; 25, стр.88/.

Таблица 6

Влияние загрязнения образца современным органическим материалом
на определение возраста радиоуглеродным методом по Ф.В.Шоттону и Д.Л.Турберу /15 /.

Истинный возраст	Приближенный возраст, полученный по загрязненному образцу (величина загрязнения в %)					
	0,1	0,2	1,0	2,0	5,0	10,0
10000	10000	9960	9800	9630	9100	8000
20000	19900	19800	19000	18300	16400	13000
30000	29700	29300	28000	25300	21270	16000
40000	39000	39110	32000	29900	23800	18000
50000	47000	45000	34000	31650	24300	18000
60000	52000	49000	34000	32100	24650	18000
Запредельный	57000	51000	38000	32500	24800	-

Не касаясь проблемы причины возникновения столь обширной в истории Каспийского моря трансгрессии (этой проблеме посвящены многочисленные труды ученых различных специальностей), отметим, что раннехвалынская трансгрессия была обусловлена с одной стороны начавшимся прогибанием суши в ательское время и продолжавшимся в раннехвалынское, с другой стороны началом деградации калининского ледникового щита и сбором вод замкнутой котловиной Каспия и увеличением относительной влажности, уменьшившей испарение с поверхности моря. Несомненно и то, что наличие перемычки в долине Маныча припятствовало до определенного момента стоку вод в Черное море /ИЮ, 22, 174, 176, 62, 63, 143, 144, 146, 123, 124, 125 и др./. Увеличение влажности климата во время развития хвалынской трансгрессии отмечено практически всеми исследователями. В Северном Прикаспии на смену перигляциальным степям ательского времени пришли таежные ландшафты /I, 187, 35, ИЮ/. Тем не менее суровый холодный климат сохранялся на протяжении всей раннехвалынской трансгрессии. Об этом свидетельствует тот факт, что сразу после спада вод в хвалынских осадках начинала формироваться мерзлота. Так, в разрезе плейстоценовых отложений у поселка Черный Яр нами встречен "котел кипения" в кровле шоколадных глин (рис. 19, 20), причем деформацией затронуты не только глины, но и нижние горизонты косослоистых песков "надхвалынского" стока, содержащие тонкие прослой шоколадных глин (рис. 10, слой 2). Подобные мерзлотные деформации описаны в кровле шоколадных глин также у села Зубовки /ИЮ/ и у села Верхнее Лебяжье. "Здесь в зоне бичевника выходы хвалынских шоколадных глин в верхней их части, мощностью 0,5 м крайне интенсивно перемяты, причем ниже они, как и всюду, залегают

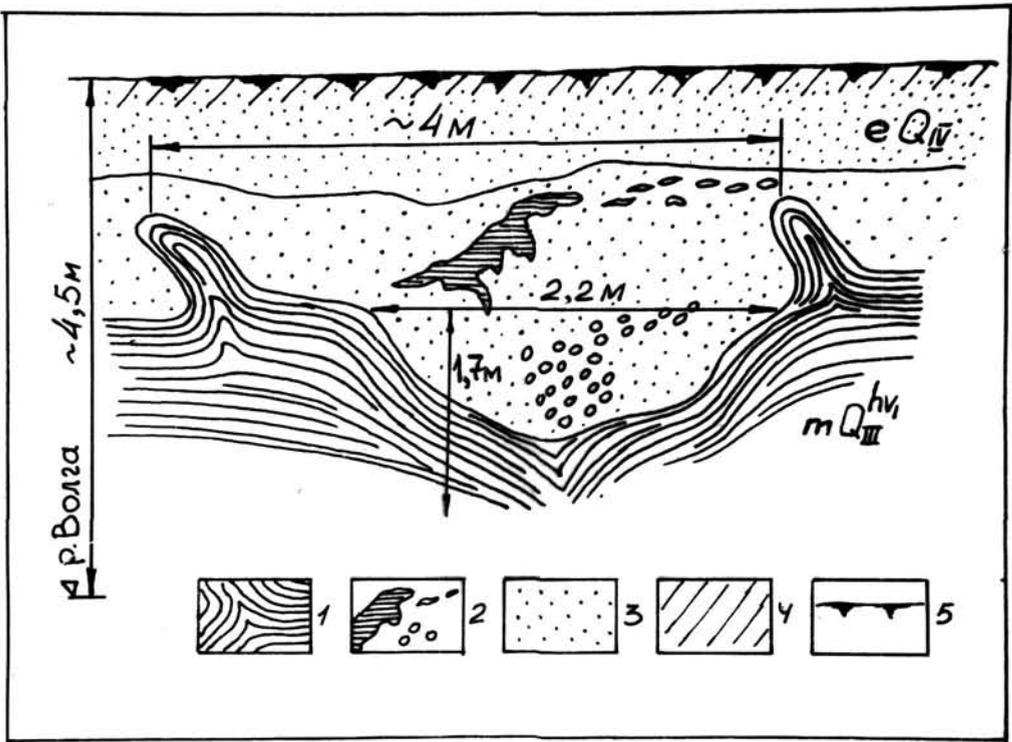


Рис. 19. мерзлотный котел в кровле шоколадных глин, правый берег Волгоградского водохранилища выше с.Иловатка. 1 - нарушения слоистости глин, 2 - обломки и окатыши шоколадных глин, 3 - песок, 4 - суглинок, 5 - почва.

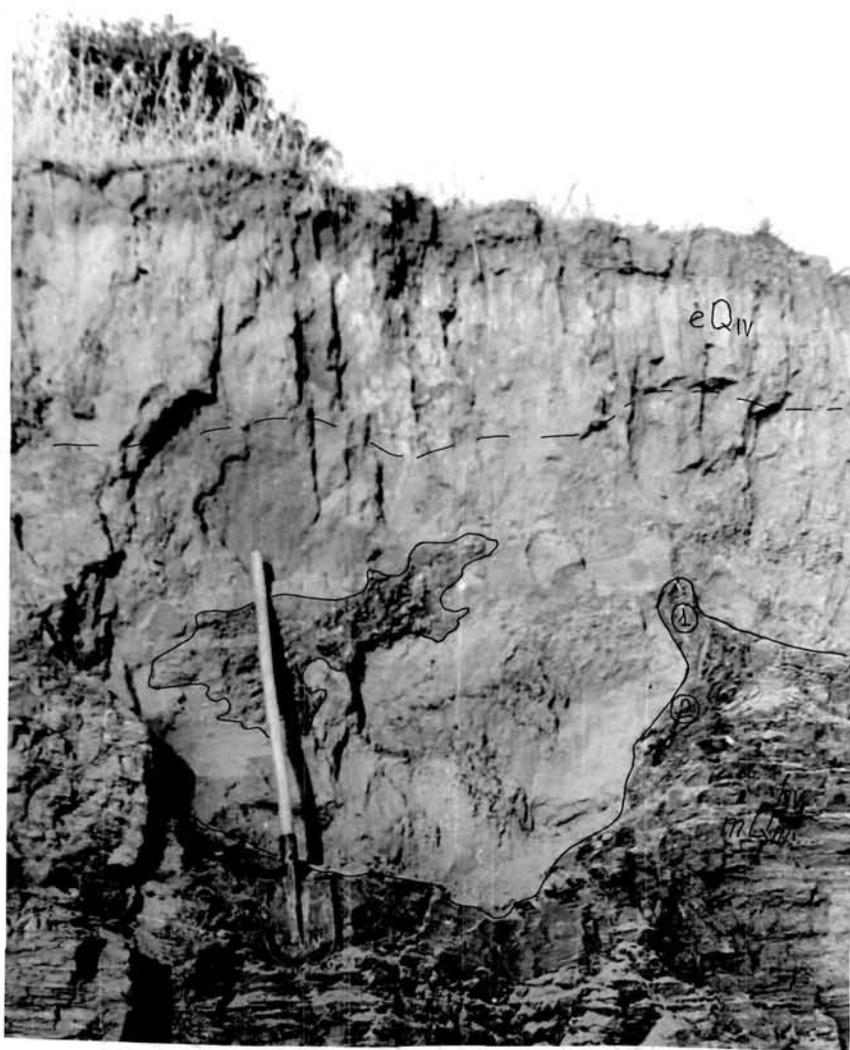


Рис.20 . Мерзлотный котел в кровле шоколадных глин
(правый берег Волгоградского водохранилища выше
с.Иловатка). I - 2 - номера деталей строения.

совершенно горизонтально, а выше залегает верхнехвалынский песок, в котором морозное смятие не обнаружено. Таким образом, время формирования этих смятий датируется весьма точно как переход между ниже- и верхнехвалынскими отложениями Каспия " /177, пункт XXIУ/.

В 1,5 км выше поселка Иловатка на левом берегу Волгоградского водохранилища в кровле нижнехвалынской морской толщи наблюдается нарушение слоистости и нормального залегания в виде мерзлотного смятия - "котла кипения" с небольшим клином в основании. Строение котла подробно представлено на рис.21, 22. Мерзлотный котел заполнен песками желтыми, мелкозернистыми-среднезернистыми, слабо ожелезненными; в центре котла наблюдается значительное скопление обломков и окатышей, состоящих из шоколадных глин. По краям мерзлотного нарушения наблюдается резкий загиб слоев вверх (рис.20, деталь I; рис.21), затем их смятие во внутрь котла (рис.20, деталь2; рис.22). В слоистой толще нижнехвалынских отложений, представленных частым переслаиванием шоколадных глин, бурых суглинков и супесей с присыпками по напластованию ожелезненного мелкозернистого песка, отмечается наличие вертикальных трещин, уходящих вглубь склона, трещины часто секут не всю толщу, а небольшие ее участки 0,2-0,3 м (по вертикали). Такие трещины прослеживаются во всей толще на расстояниях обычно от 1,5 до 2,0 м примерно параллельно друг другу.

Данные следы, исключая трещины, мерзлотных процессов относятся к следам в слое сезонного промерзания - протаивания. Инволюции или криотурбации и "котлы кипения" - это вертикальные и частично горизонтальные, чаще всего пластические перемещения грунта, которые захватывают слой мощностью 0,5-1,0 м, иногда



Рис. 21. Деталь I. Перегиб слоев шоколадных глин на краю котла.

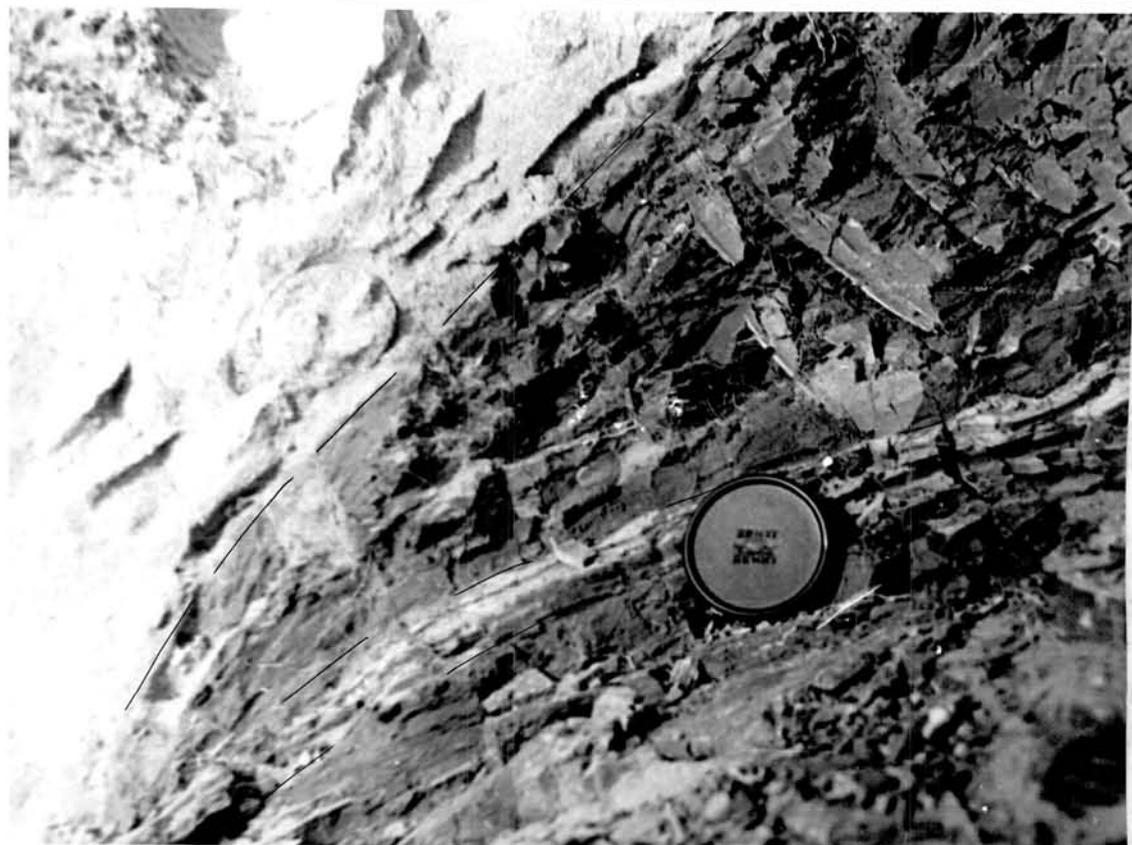


Рис. 22. Деталь 2. Изгиб слоев во внутрь котла.

более, четко видны в слоистых осадках. Обычно они рассматриваются как следы существования многолетнемерзлых пород хотя их образование связано со специфическими природными условиями, но не обязательно с многолетнемерзлыми породами /49/.

Весьма вероятно, что перемещения грунта, наблюдаемые в инволюциях и "котлах кипения" возникают в период промерзания обводненного сезонно-протаивающего слоя. Многолетнемерзлые породы в этом случае служат водупором, обеспечивая его переувлажнение. Но такие же условия могут возникнуть в слое сезонного промерзания, подстилаемого тальми, но водонепроницаемыми породами. В этом случае для формирования подобных нарушений не обязательно существование многолетнемерзлых пород /49/.

Может показаться на первый взгляд, что во время образования "котлов кипения" в кровле хвалыньских глин, описанных выше, не обязательно существование многолетнемерзлых пород, так как они сами являются водупором. Однако у А.И.Москвитина имеется описание инволюций и криотурбаций, образованных в сплошном, хотя и маломощном покрове супесей и песков, отложенных поверх верхней погребенной почвы. В них прослеживаются ясные криотурбации и псевдоморфозы морозобойных трещин, которые указывают на делювиально-солифлюкционное происхождение песчаного шлейфа, который в Среднем и на севере Нижнего Поволжья лежит поверх лесовидных суглинков калининского оледенения, являющихся субстратом погребенной почвы. Это вызвано, очевидно, возобновлением перигляциальной обстановки в век последнего - ошашковского оледенения /IIО, стр. IIО/.

К следам мерзлотных процессов, происходивших в толще многолетнемерзлых пород, относятся нарушения слоистости хвалыньских

шоколадных глин, подробно описанные в литературе /177, 110, 6, 9, 19 и др./. Посткриогенная текстура лучше всего сохраняется в глинистых и суглинистых осадках, прошедших до промезания стадию уплотнения. Этому требованию, в наибольшей степени, отвечают эпигенетически промезшие отложения озерного и морского генезиса, для которых характерны сетчатые и слоистые текстуры. Криогенная трещиноватость, для которой характерно ожелезнение по стенкам трещин, а в трещинах иногда - тонкая присыпка песков, хорошо согласуется с трещиноватостью шоколадных глин /49, 134, 159/. При проходке шурфа на раннехвалынской аккумулятивной равнине в 8 км южнее поселка Средняя Ахтуба (левый берег реки Ахтуба) нами были обнаружены и описаны субвертикальные трещины, секущие шоколадные глины и верхнюю часть ательских лессовидных суглинков. Ширина трещин в шоколадных глинах не превышает 3 см, увеличиваясь до 5 см в ательских суглинках непосредственно ниже контакта с перекрывающими глинами (рис.23). Стенки трещин сильно ожелезнены. Трещины заполнены вышележащим светло-желтым суглинком. Наблюдается две системы взаимно перпендикулярных трещин СВВ и ВЮВ простираний, расстояние между которыми 0,2-0,4м. Шоколадные глины в промежутках между описанными трещинами разбиты волосяными трещинами на остроугольные отдельности до 0,02м. Очевидно, такого вида трещины можно отнести к мерзлотным. Но интерпретировать в целом трещиноватость шоколадных глин как криогенную нельзя, так как она сильно затушевана усадочными трещинами, развивавшимися при современном сухом континентальном климате /134/.

На территории Северного Прикаспия широко развит западинный микрорельеф. Он может свидетельствовать о сплошном развитии многолетнемерзлых пород в позднехвалынское время, когда область

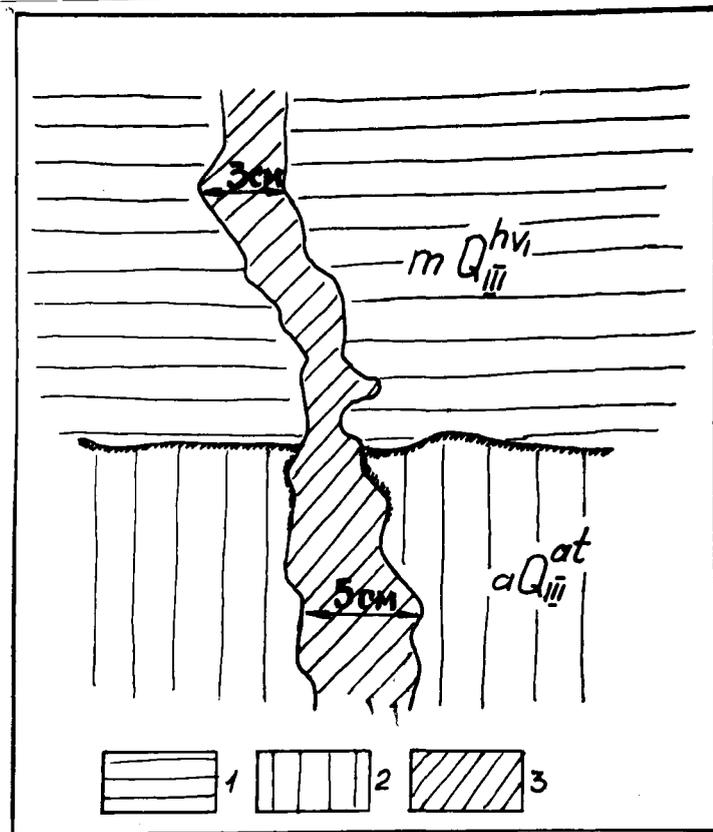


Рис. 23. Сувертикальная мерзлотная трещина, секущая шоколадные глины и верхнюю часть ательских лессовидных суглинков.

1 - шоколадные глины, 2 - лессовидные суглинки,
3 - суглинок, заполнитель трещины.

перигляциальных степей (в которых, судя по данным споро-пыльцевых анализов, существенную роль играли группировки бореальных флористических элементов) доходила на юго-востоке вплоть до Прикаспийской низменности /133/.

В дальнейшем климат Северного Прикаспия стал более влажным и теплым, о чем может свидетельствовать наличие двух горизонтов погрбенных почв в кровле нижнехвалынских отложений в долине Большого и Малого Узеня (рис.13). Данные споро-пыльцевого анализа указывают на расселение влаголюбивых и теплолюбивых растений во время формирования этих почв, что можно связать, по-видимому, с потеплением "аллерёд"; последнее характеризовалось теплым климатом, близким к современному /29, 68/.

2.3. Современные физико-географические условия существования ательских пород.

Климатические и физико-географические условия являются одним из факторов, определяющих инженерно-геологические особенности отложений и протекающие в них физико-химические процессы.

2.3.1. Климат.

Характерными особенностями климата Северного Прикаспия являются резко-континентальный климат, небольшое количество осадков и значительное испарение.

Зима характеризуется суровостью, низкими температурами с абсолютными минимумами на севере территории минус 37°C и на юге до минус 29°C . Среднемесячные температуры января составляют минус 7°C - минус 11°C . Устойчивый снежный покров устанавливается обычно во второй половине декабря и исчезает во второй половине марта. Продолжительность периода с устойчивым снежным

покровом 60-66 дней. Максимальная высота снежного покрова на равнинных местах не превышает 0,25-0,30 м, средние значения до 0,05 м. Средняя глубина сезонного промерзания составляет 0,50-0,60 м, максимальная глубина промерзания на юге - 0,70 м, на севере территории до 2,0 м.

Летний период характеризуется среднемесячными температурами $+ 19^{\circ}$ - $+ 24^{\circ}$ С. Максимальные температуры июля составляют $+ 37^{\circ}$ - $+ 42^{\circ}$ С. Продолжительность периода с устойчивой среднесуточной температурой выше нуля - около 200 дней. Среднегодовая температура воздуха равна $+ 6^{\circ}$ - $+ 8^{\circ}$ С, повышаясь при продвижении на юг.

Годовое количество осадков заметно возрастает с юга на север. Осадки выпадают редко, в основном летом, и носят они преимущественно ливневый характер. Среднегодовое количество осадков менее 320 мм.

Высокие летние температуры и сильные ветры обеспечивают интенсивное испарение, которое в несколько раз превышает количество осадков и составляет 750-900 мм/год. Несмотря на то, что в летнее время выпадает около 60% осадков, в целом дефицит влажности приходится на летний период, так как ливневый характер осадков обуславливает инфильтрацию лишь малой части влаги в почву, а высокие температуры и господствующие сухие восточные ветры /165/ способствуют интенсивной испаряемости и засухам. Максимальная продолжительность засух на юго-востоке 80-90 дней, при суховеях среднесуточная температура воздуха выше $+ 20^{\circ}$ С, а относительная влажность ниже 30%, иногда 10-15%. Засухи часто охватывают два и три сезона года, повторяются с периодичностью от 1 до 6 лет и бывают одно- двух- и даже трехгодичные.

2.3.2. Рельеф

Характерной особенностью Северного Прикаспия являются бессточные впадины (лиманы, соры, озера, падины) и западинный микрорельеф, свойственный равнинам междуречья. Эти формы, имеющие разные размеры и обычно небольшую глубину, на плоских равнинах при резкой засушливости климата служат важным фактором перераспределения поверхностной влаги, создавая резко различные условия формирования почвенно-растительного покрова даже на участках, расположенных в непосредственной близости друг к другу /53/. В северной части Прикаспийской низменности выделяется 72 комплекса и сочетания каштановых, луговых, степных и лугово-степных почв, расположенных на разных участках микрорельефа /127, стр.4-5/, что является отражением их различного влажностного режима. Лиманы, падины и соры - представляют собой понижения дохвалынского рельефа и выполнены мощными толщами нижнехвалынских отложений (лиманы Большой, Сорочий и др.). Различия почвенного покрова с таковым на возвышенных участках определяются в основном литологией отложений, послуживших субстратом для почв. Гораздо более распространен западинный микрорельеф, развитый на более высоких участках раннехвалынской аккумулятивной равнины. Здесь намечается три почти широтных полосы с различной степенью выраженности и сочетанием элементов микрорельефа (рис.24). При этом микрорельеф заметно выглаживается в направлении с севера на юг. Глубокозападинный тип микрорельефа характеризуется значительным количеством бессточных западин максимальной глубиной 0,25-0,60 м. Плоскозападинный тип микрорельефа характеризуется обособленным развитием западин слабоогнутого профиля, глубиной до 0,15 м, и плоскими меж-

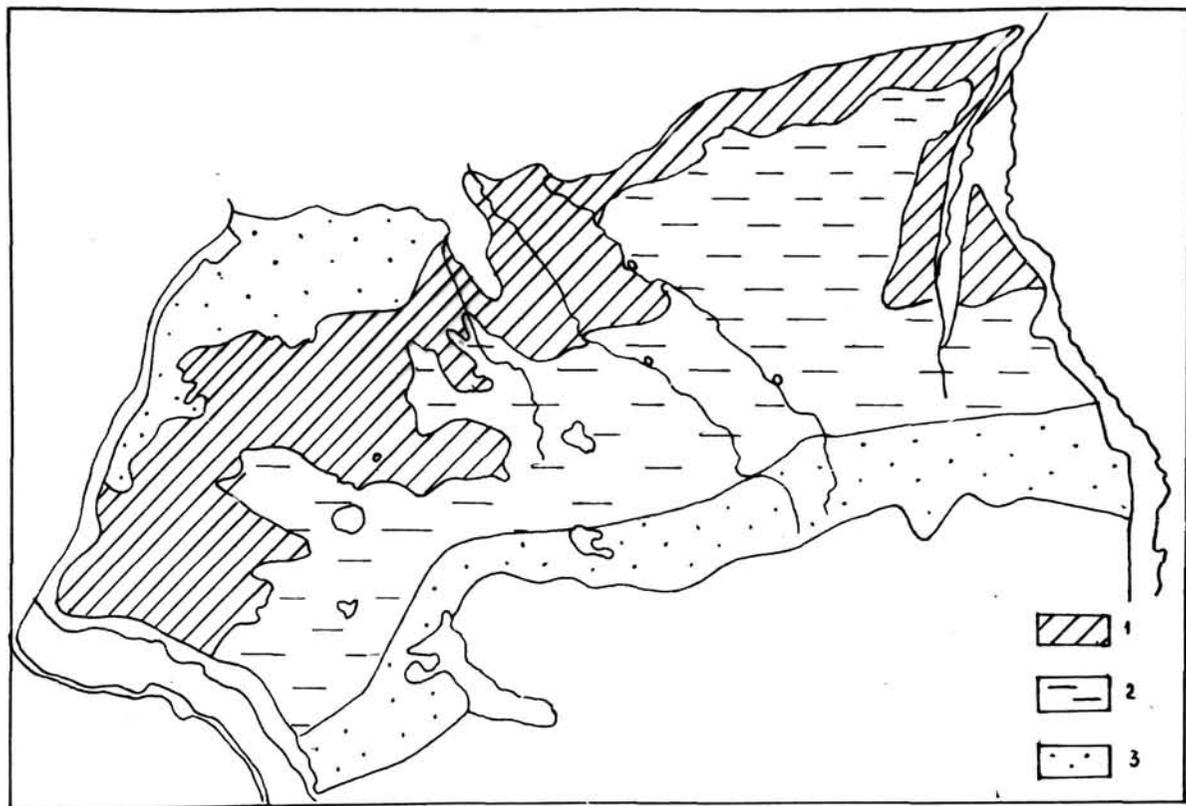


Рис. 24 . Схематическая карта основных типов микрорельефа северной части Прикаспийской низменности Д04 / : 1 - глубокозападинный, 2 - плоскозападинный, 3 - мелкозападинный.

западинными участками. Мелкозападинный тип микрорельефа характеризуется микропонижениями 0,01-0,02 м, а участки выщелоченных почв, "заменяющих" западины, расположены цепочками, вытянутыми в направлении общего уклона поверхности. Западины служат резервуарами, где задерживаются и инфильтруются в почву талые и ливневые воды. Как правило, почвы впадин и больших западин увлажняются на глубину 5-6 м, в западинах малой емкости почвы промачиваются на 1-1,5 м /104/.

Подробно рассматривая физические и физико-химические процессы, приводящие к дифференциации растительности и почв на разных уровнях микрорельефа, Д.Л.Мозесон не дает ответ на вопрос, что послужило причиной возникновения западинного микрорельефа. Автор считает, что он не имеет существенного значения /104, стр.87/. На самом деле, признавая мерзлотное происхождение такого микрорельефа /133, 29/, картирование западинного микрорельефа в сочетании с другими методами палеогеографических исследований помогает проследить распространение многолетне-мерзлых пород в последнюю ледниковую эпоху.

В ы в о д ы к г л а в е 2.

1. Завершение хазарского века ознаменовалось повсеместным почвообразованием в микулинское межледниковье. Начало ательского века совпало с развитием на Восточно-Европейской платформе калининского оледенения. Накопление и формирование ательской толщи проходило в суровых перигляциальных условиях, что подтверждается широким развитием мерзлотных деформаций от подошвы до кровли отложений.

2. Выявленные особенности строения ательской толщи на разных участках Северного Прикаспия, характер взаимоотношения их

с подстилающими отложениями и фациальная связь с аллювиальными отложениями вторых надпойменных террас рек за пределами Прикаспийской впадины позволяют рассматривать ательские отложения как перигляциальный аллювий калининского возраста.

3. Нижнехвалынские отложения на большей части территории имеют мощность от 1,5 до 5 м. На участках развития мощных ательских отложений мощность морских нижнехвалынских отложений не превышает 2 м.

4. Сразу после регрессии раннехвалынского бассейна на территории Северного Прикаспия установились суровые перигляциальные условия, что подтверждается наличием различных мерзлотных нарушений слоистости морских отложений в виде "инволюций", "котлов", псевдоморфоз по ледяным жилам.

5. Аридный климат в Северном Прикаспии в современное время способствует прогрессивному иссушению толщи ательских пород.

ГЛАВА 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АТЕЛЬСКИХ ПОРОД

3.1. Гранулометрический и микроагрегатный составы

Геологические условия накопления, интенсивное развитие процессов морозного выветривания в позднехвалынское время отразились на особенностях ательских пород, в первую очередь, на их гранулометрическом и микроагрегатном составе.

Среди ательских пород выделяются лессовидные суглинки, супеси и пески, связанные постепенными переходами (см. 2.2.1.). Для всех выделенных разновидностей связных пород изучались гранулометрический и микроагрегатный составы. Определение обоих составов проводилось пипеточным методом (объем пипетки 25 см³) в суспензиях. При гранулометрическом анализе использовалась подготовка по методике П.Ф.Мельникова /179/; при микроагрегатном - подготовка по методике Н.А.Качинского /179/. Для песчаных грунтов определялся гранулометрический состав ситовым методом /173/. Наличие взаимосвязи лессовидных суглинков с подстилающими песками, отмеченная при полевых наблюдениях, подтвердилась при исследовании гранулометрических составов, что отмечается в постепенном убывании содержания фракций среднего и мелкого песка снизу вверх (рис.25,26А,Б) в каждом ритме (пачке).

Пески, подстилающие суглинки и супеси или слагающие небольшие прослой и линзы среди них, подразделяются на три гранулометрические разновидности: средне-мелкозернистые, мелкозернистые и тонко-мелкозернистые по классификации Е.М.Сергеева /151/. Характерные значения содержания различных фракций каждой разновидности представлены в таблице 7. В разрезах ательских пород Нижнего Поволжья преобладают средне-мелкозернистые пески, составляющие 51,5% всех изученных песков (рис. 27), присутствие

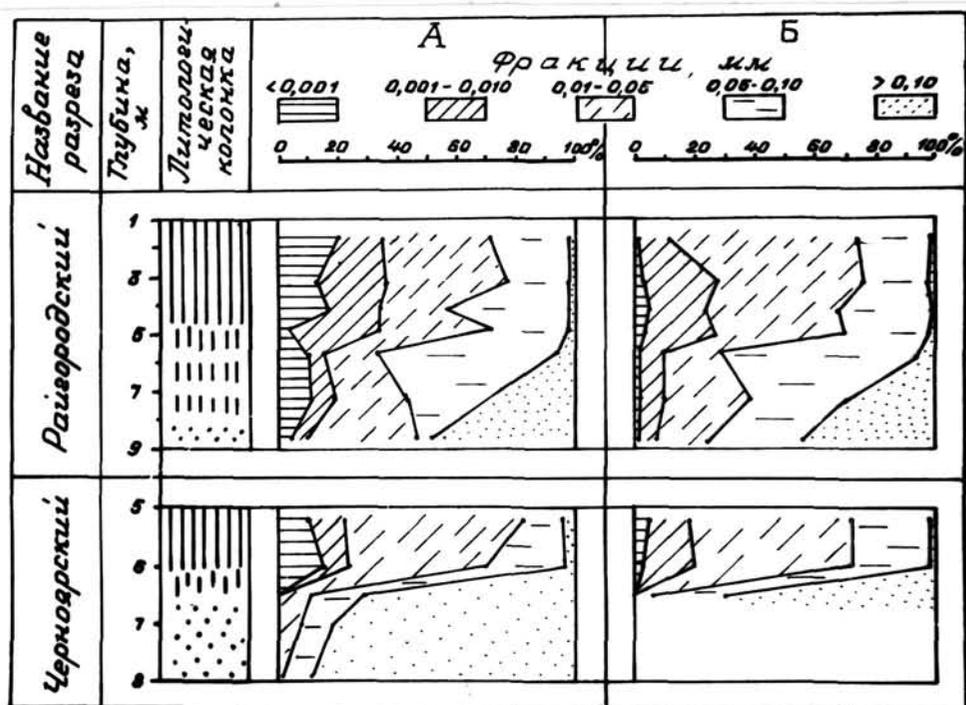
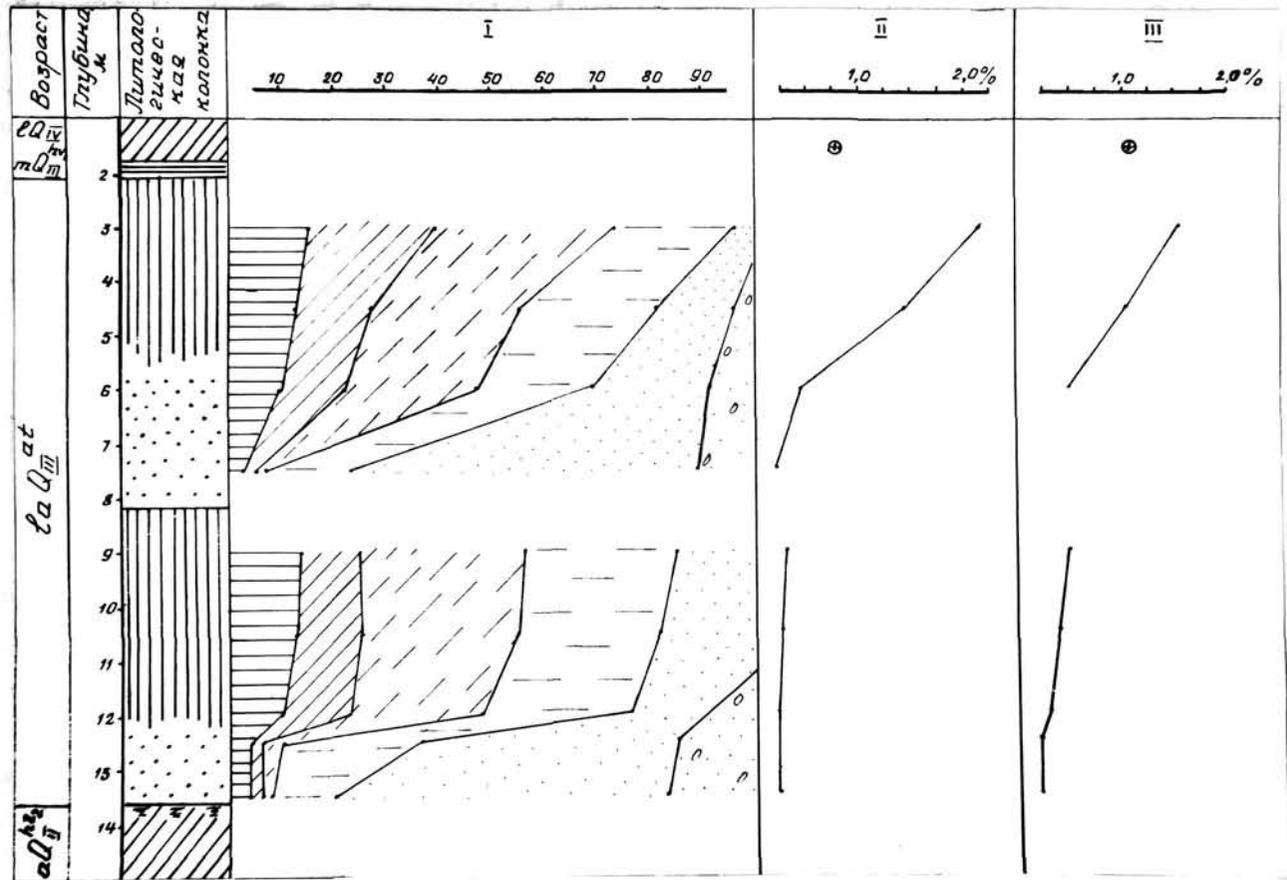


Рис. 25. Изменение гранулометрического (А) и микро-агрегатного (Б) составов ательских отложений по разрезу.

A



B

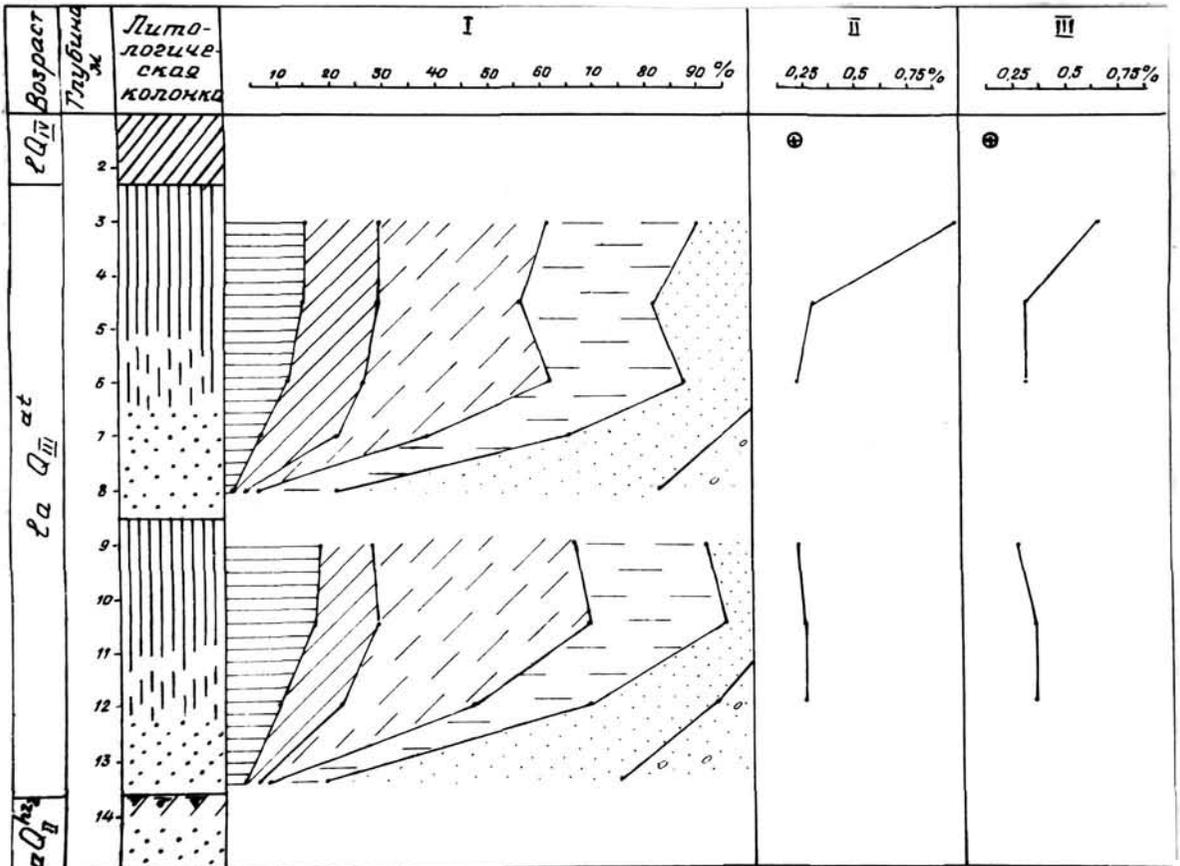
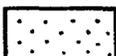


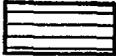
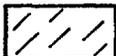
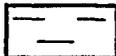
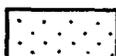
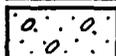
Рис.26 . Гранулометрический состав (1), засоленность (2) и загипсованность (3) ательских отложений Светло-ярского опорного разреза в районе распространения (А) и отсутствия (Б) нижнехвалыньских шоколадных глин.

Условные обозначения:

1. Литологическая колонка:

	- глины
	- суглинки
	- лессовидные суглинки
	- лессовидные супеси
	- пески
	- погребенная почва

2. Гранулометрический состав:

Фракции, мм	
	- < 0,001
	- 0,001 - 0,010
	- 0,010 - 0,050
	- 0,050 - 0,10
	- 0,10 - 0,25
	- > 0,25

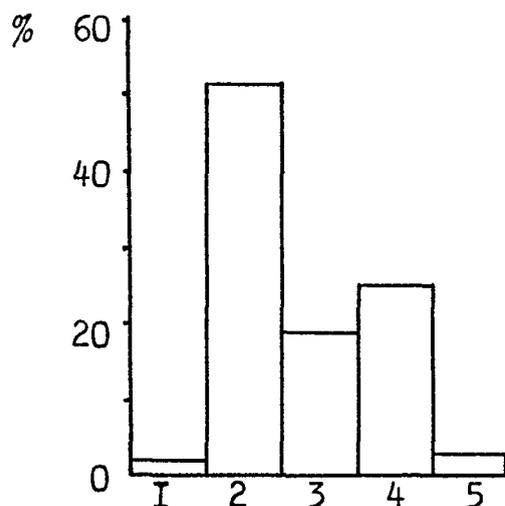


Рис. 27. Встречаемость разновидностей песков в разрезах ательских отложений (158 опр.). I - мелко-среднезернистые, 2 - средне-мелкозернистые, 3 - мелкозернистые, 4 - тонко-мелкозернистые, 5 - мелко-тонкозернистые.

Таблица 7

Характеристика состава песчаных грунтов ательского горизонта (преобладающие гранулометрические разновидности).

Название песков по классификации Е.М.Сергеева	Средне-мелкозернистые чистые	Мелкозернистые чистые	Тонко-мелкозернистые чистые и пылеватые
	С о д е р ж а н и е , %		
Фракции, мм > 0,5	до 5 (10)	до 1 (2)	до 2
0,5 - 0,25	14 - 40	до 20	до 25
0,25 - 0,10	44 - 65	70 - 80	44 - 60
< 0,10	до 10 (20)	до 10	26 - 43

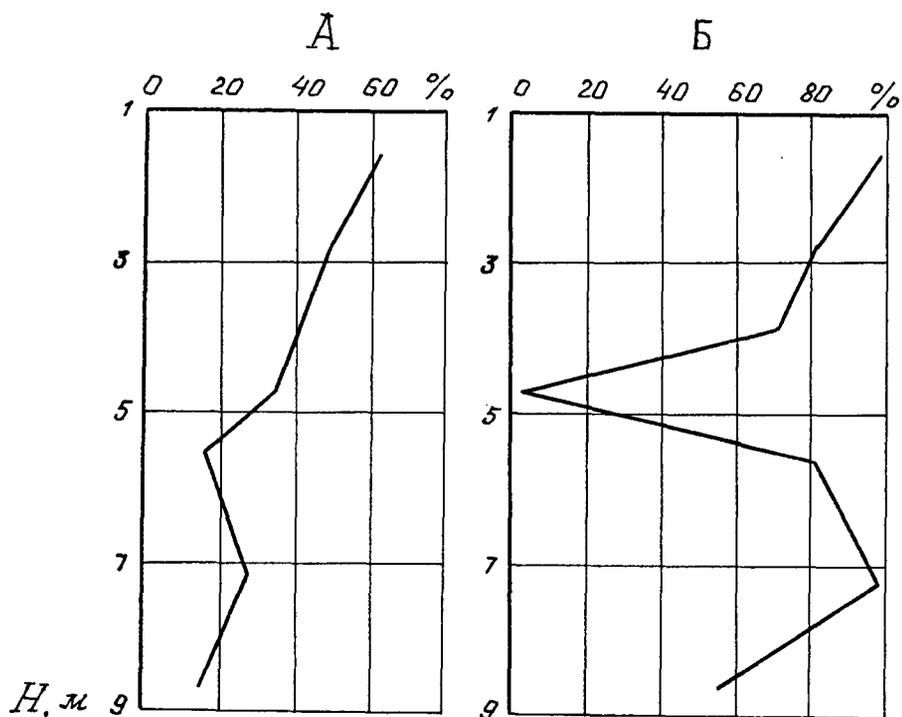


Рис. 28. Содержание агрегатов крупной пыли /А/ и агрегированность глинистой фракции /Б/ по разрезу ательских отложений у поселка Райгород, правый берег реки Волги.

мелко-среднезернистых и мелко-тонкозернистых разностей незначительно (до 5%). В разрезах Волгоградского Заволжья, где ательский возраст отложений не вызывает серьезных возражений, преобладают тонко-мелкозернистые пески.

По гранулометрической классификации С.С.Морозова /107,108/ связные ательские грунты подразделяются на лессовидные супеси и лессовидные суглинки, среди последних встречаются все разновидности, но преобладают легкие и средние. Преобладающими фракциями в составе лессовых пород являются крупная пыль и тонкий песок. В естественных условиях лессовые породы находятся в агрегированном состоянии, суммарное содержание агрегатов круп-

ной пыли и тонкого песка составляет у лессовидных суглинков 70-80% и 50-60% у лессовидных супесей (рис.25). Агрегированность частиц 0,001мм изменяется в широких пределах от 98 до 1%, в таких же пределах изменяется агрегированность фракции тонкого песка (рис. 28). Здесь в основании суглинка наблюдается горизонт с практически неагрегированными глинистой и тонко-пылеватой фракциями, что объясняется неоднородным характером засоления толщи.

Закономерный характер изменения гранулометрических разностей по разрезам ательских пород, ритмичность в строении разрезов, преобладание в лессовидных суглинках и супесях микроагрегатов крупной пыли и тонкого песка, фракции мелкого песка в песчаных грунтах являются отражением перигляциальных условий формирования толщи в ательское время, а так же возобновления этих условий в позднехвалынское (осташковское) время, когда произошло окончательное стирание генетических различий отдельных литологических разностей и сформировался современный облик ательских отложений.

3.2. Химико-минеральный состав

3.2.1. Минеральный состав

Изучение минерального состава ательских пород проводилось отдельно для песчаной и глинистой фракций.

Минеральный состав песчаных частиц проводился путем анализа шлихов фракции 0,25-0,10 мм под руководством И.А.Брызгалова в лаборатории кафедры минералогии Геологического факультета МГУ.

Изучение состава обломочных минералов позволяет выяснить источники сноса терригенного материала лессовых пород. Значи-

тельный интерес при палеогеографических реконструкциях, установлении генетических типов отложений и прослеживании связи между различными литологическими пачками одного генетического ряда представляет анализ состава тяжелых минералов /2, 3, 93, 140/.

С этих позиций был проанализирован состав тяжелых минералов фракции 0,25-0,10 мм песчаных и лессовых грунтов ательского возраста. В песках данная фракция составляет от 30 до 70%, хотя в суглинках и супесях содержание частиц данного размера составляет 1-3% редко до 10%. Многие исследователи отмечают, что тяжелые минералы данной фракции характеризуются наибольшим разнообразием по сравнению с тяжелыми минералами из других фракций /139, 142, 120/.

Проведенный анализ показал, что для ательских отложений Нижнего Поволжья характерно невысокое содержание минералов тяжелой фракции (не более 0,6%).

В составе тяжелых минералов преобладают минералы: группы эпидота (от 30 до 65%), лимонит (5-35%), ставролит (2-5%), группы граната (2-10%), разрушенный эпидот (до 15%). В целом же отмечено присутствие до двадцати разновидностей минералов; остальные присутствуют в виде единичных знаков (табл. 8 и 9).

Несколько иной состав тяжелых минералов получен С.Я.Ореховым /114/. Автор отмечает важное место циркона, который "особенно характерен для ательских слоев, где он составляет 14-16%" /114, стр.89/. Исследование более чем 50 проб не подтверждает этот вывод, так как во всех пробах ательских пород обнаружено лишь три зерна циркона.

Изучение состава минералов литологических разновидностей ательских отложений, проведенное на ряде разрезов показало, что для песков, лессовидных суглинков и супесей характерно повышен-

Состав и содержание тяжелых минералов ательских отложений во фракции 0,25 - 0,10 мм (Волжский опорный разрез, шурф - 30).

Возраст гексис	Глубина, м	Литологи- ческая колонка
La. a. Q III	2,0	
	3,0	
	4,0	
	5,0	

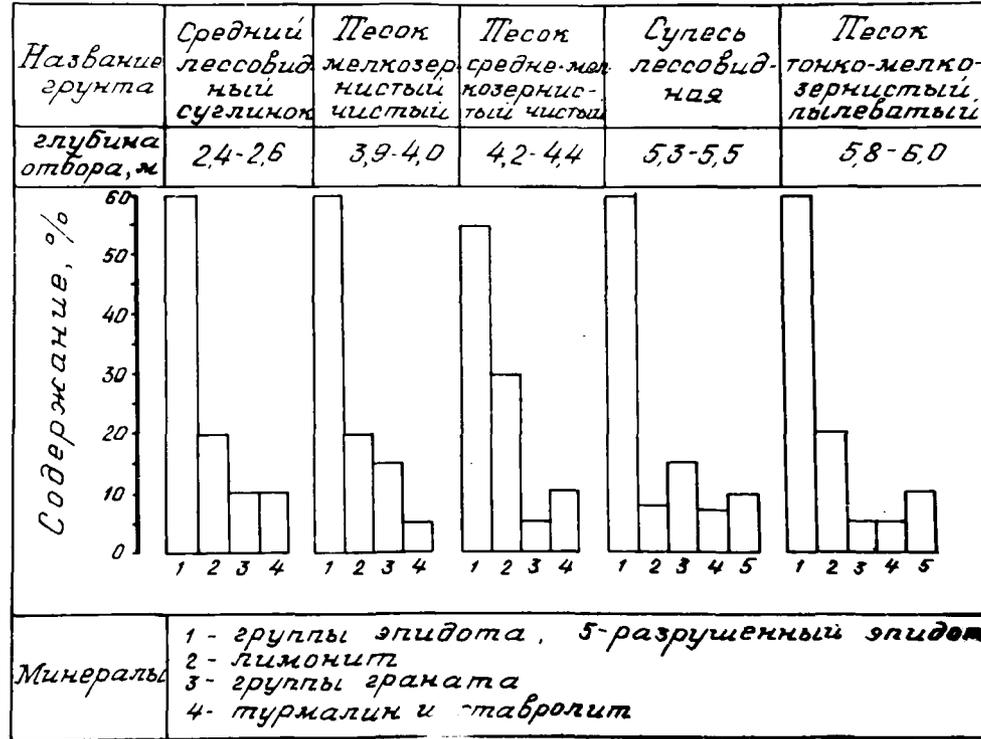
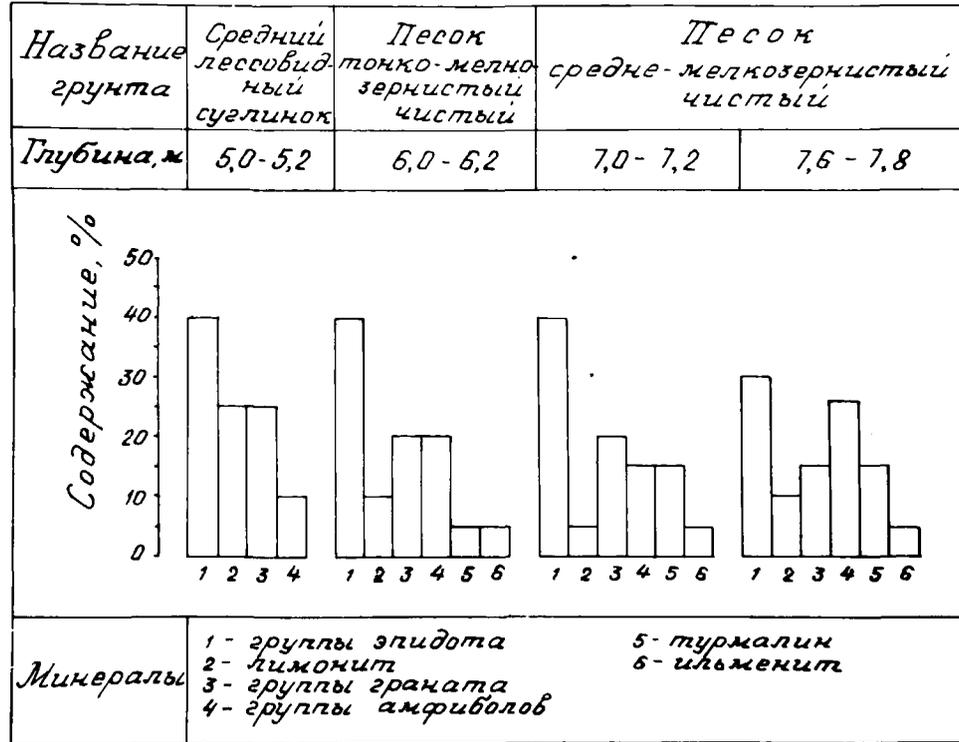
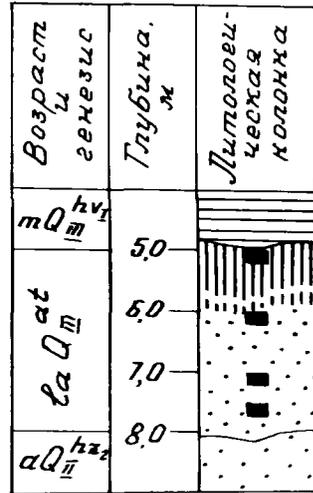


Таблица 9

Состав и содержание тяжелых минералов ательских отложений во фракции 0,25 - 0,10 мм (Черноярский опорный разрез, шурф - 63).



ное содержание минералов группы эпидота (30-60%). Постоянство состава тяжелой ф-кции в количественном и качественном отношениях позволяет говорить о единстве формирования /I2, I67/ песков, лессовидных суглинков и супесей ательского возраста (табл. 8 и 9).

Исследование состава тяжелых минералов неогеновых (ергенинских песков N_2^e) и палеогеновых (мечеткинских песков $P_3^{мэв}$) песчаных отложений Приволжской возвышенности показало, что преобладающими являются: лимонит (до 70%), гранат (5-35%), турмалин (5-20%), ставролит (до 10%), минералы группы амфиболов (до 10%); остальные присутствуют в виде единичных знаков. В тяжелой ф-кции черныярских песков, подстилающих в ряде районов ательские отложения, в основном присутствуют лимонит (до 90%), турмалин (до 20%), гранат (до 20%), эпидот (до 20%). Таким образом, переотложение подстилающих песчаных пород и размыв отложений, слагающих Приволжскую возвышенность, не могли способствовать накоплению минералов группы эпидота во ф-кции 0,25-0,10 мм. По-видимому, основным источником поступления минералов группы эпидота следует считать Уральскую терригенно-минералогическую провинцию, характеризующуюся широким развитием полей скарновых пород /I39/.

Анализируя состав тяжелых минералов лессовых пород, по наличию значительного количества нестойких минералов (группы амфиболов и эпидота) рядом исследователей /I42, I40, II4, 2, 3, I81, I82, 93/ определяется кратковременность миграции материала. Заметные следы механической обработки и окатывания тонкого алевроитового материала, составляющего лессовидные породы, по мнению С.Я.Орехова и И.А.Шамрай можно объяснить только эоловым способом миграции и в быстром его захоронении в накопившихся осадочных массах /II4, стр.97; I82, стр.75/. Подобную точку зрения развивает А.С.Рябченков /I42/, который считает, что в результате вы-

ветривания и разложения неустойчивых минералов происходит сокращение количества минеральных видов. Преобладание нестойких минералов в тяжелой фракции лессовых пород рассматривается как показатель устойчивости и малой изменчивости минеральной массы при её существовании в толще лессовых пород /142, 140/. К сожалению, результаты, получаемые для песков механически переносятся на лессовую породу, что запутывает и без того сложную проблему лессов. В лессовых породах различного генезиса, из разных регионов пылеватые и песчаные частицы покрыты сложной полиминеральной "рубашкой" /100, 101, 102/. Наличие такой оболочки надежно защищает минералы от разрушения в природных условиях. Образование защитной пленки на поверхности силикатного зерна может происходить в результате его гидролиза в присутствии CO_2 . Вынос катионов способствует образованию поверхностной пленки, отличающейся относительной устойчивостью. После образования защитной пленки вынос катионов может происходить только путем диффузии через почти инертный поверхностный слой, что резко снижает скорость изменения силикатного минерала /168, стр.59/. Но пленочные образования на поверхности песчаных зерен образуются не только в лессовых породах. Они могут формироваться на поверхности зерен в процессе отложения и выветривания песчаных грунтов. Главные химические компоненты вещества пленки - SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . В период транспортировки чаще всего образуются силикатные пленки, в процессе выветривания и почвообразования формируются силикатные, железистые и органические пленки /168/. Изменение морфологии поверхности песчаных зерен может происходить в результате взаимодействия зерна и вещества пленки. Все выше сказанное показывает, что по наличию в тяжелой фракции неустойчивых минералов и характеру поверх-

ности песчаных и пылеватых зерен /54, 120, 190 - 195 / нельзя судить о степени выветрелости породы и способе её отложения (генезисе).

Состав глинистых минералов изучался в лаборатории рентгеновских исследований кафедры грунтоведения и инженерной геологии Геологического факультета МГУ под руководством В.Г.Шлыкова. Полученные данные свидетельствуют о практическом сходстве состава минералов глинистой фракции в количественном и качественном отношении. Преобладающим минералом является диоктаэдрическая высокожелезистая гидрослюда; в меньших количествах присутствуют триоктаэдрический магнезиально-железистый хлорит, каолинит с примесью галлуазита и монтмориллонитоподобная фаза, представленная в основном смешаннослойными образованиями гидрослюдисто-монтмориллонитового состава с различным соотношением пакетов гидрослюды и монтмориллонита (табл. 10). Типичные дифрактограммы глинистой фракции ательских лессовых пород представлены на рис. 29. Минералы глинистой фракции лессовидных суглинков, залегающих непосредственно под нижнехвалынскими шоколадными глинами характеризуются меньшим гипергенным воздействием, чем глинистые минералы суглинков более глубоких горизонтов ательских отложений. Это воздействие изучено на двух парах образцов, отобранных в интервале глубин 0,5-0,8 м. Образцы "4С" и "5С" представлены тяжелыми лессовидными суглинками из разреза ательских отложений в 8 км южнее поселка Средняя Ахтуба на реке Ахтуба, а образцы "6С" и "7С" представлены средним лессовидным суглинком из разреза ательских отложений у поселка Черный Яр на реке Волге (табл. 10). Образцы "4С" и "6С" отобраны из кровли ательских пород непосредственно ниже шоколадных глин раннехвалынского возраста. Минеральный состав глинистой части образцов "5С" и "7С" характеризуется

Минеральный состав глинистой фракции ательских лессовых грунтов

№ образ-ца	Название грунта по С.С.Морозову. Место отбора образца	Глубина отбора образцов, от м до	Примерный состав глинистой фракции, %					Состав смешан-нослойных ми-нералов гидрослюда: :МОНТМО-риллонит
			гидро-слюда	каоли-нит	хлорит	МОНТМО-рилло-нит	смешан-нослой-ные	
6С	средний лессовидный суглинок, правый берег р.Волги у пос. Черный Яр	5,0-5,2	65-70	5- 7	10	-	15-17	0,5 : 0,5; 0,7 : 0,3
7С		5,8-6,0	55-60	5- 7	8-10	примесь	25-28	0,25 : 0,75
4С	тяжелый лессовидный суглинок, левый берег р.Ахтубы 8 км южнее пос. Средняя Ахтуба	3,2-3,3	45-50	5- 7	10-12	10	20-25	0,5 : 0,5
5С		3,6-3,8	50-55	10	10	5	20	0,45 : 0,55
0А-1	средний лессовидный суглинок, 1 км южнее г.Волжского	3,8-4,0	40	8-10	5	10	35	0,4 : 0,6

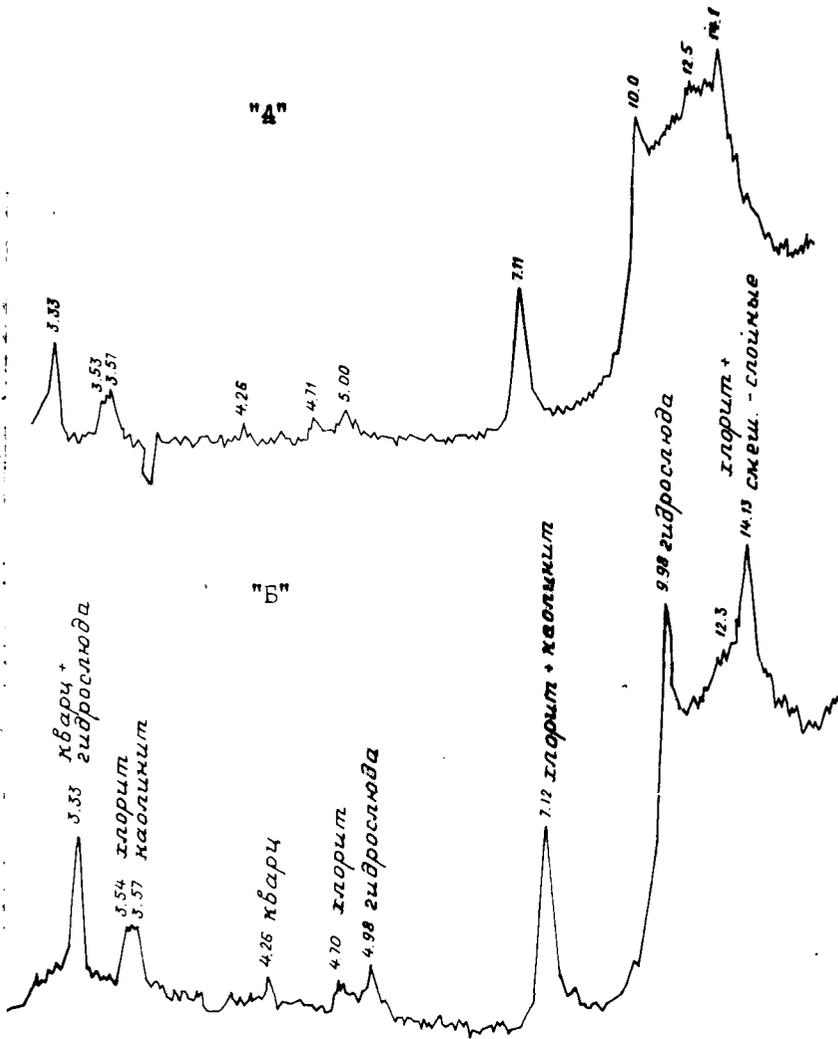


Рис. 29 . Типичные дифрактограммы глинистой фракции:
"А"- тяжелый лессовидный суглинок,
"Б"- средний лессовидный суглинок.

признаками большего гипергенного воздействия, что выражается в менее совершенной структуре минералов (особенно железосодержащих), в большем количестве смешаннослойных с одновременным увеличением содержания пакетов монтмориллонитового типа. Для них характерно высокое содержание аморфного вещества (как SiO_2 , так и Fe_2O_3).

Хорошая сохраненность магнезиально-железистого хлорита, меньшее количество монтмориллонитовых пакетов в смешаннослойных минералах в глинистой части образцов "6С" и "4С" обусловлена значительным привнесом магнезиальных солей из вышележащих морских глин, что отражается в повышенном содержании катиона магния в поглощенном комплексе (см. ниже).

3.2.2. Химический состав

Особенности химического состава лессовых пород ательского возраста изучались с помощью водных, солянокислых (5% HCl) и щелочных (5% KOH) вытяжек, определения ёмкости обмена и состава обменных катионов методом Пфеффера /4, 74/, гипса и карбонатов - методом В.Е.Соколовича /106/.

Результаты анализа водных вытяжек показывают, что ательские лессовые породы являются средне-слабозасоленными грунтами; верхние 5 м, иногда и более, в разрезах ательских отложений на левобережье реки Ахтубы, на правобережье реки Волги (на участке Светлый Яр - Райгород) являются средnezасоленными грунтами /150, см. табл. 2/. Преобладают хлоридный и сульфатно-хлоридный типы засоления, но часто встречаются линзы и прослойки, характеризующиеся хлоридно-сульфатным типом засоления (табл. II, I2). По периферии Прикаспийской впадины, в долинах рек Узеней, Урала, Есенанкаты встречаются средnezасоленные аналоги ательских отло-

Таблица II

Результаты анализа водных вытяжек грунтов Райгородского опорного разреза

Интервал отбора образцов, м	pH	$\frac{Cl'}{SO_4''}$	$\frac{Na'}{Ca''}$	$\frac{HCO_3'}{SO_4''}$	$\frac{Mg''}{Ca''}$	Плотный остаток, %
1,6 - 1,8	7,6	0,29	0,9	0,05	0,25	1,79
3,8 - 4,0	7,6	0,87	13,84	0,10	0,78	0,93
4,8 - 5,0	7,6	0,22	0,66	0,02	0,29	1,87
6,8 - 7,0	7,4	1,15	12,33	0,16	0,86	0,75
8,6 - 8,8	7,6	5,85	11,23	2,58	0,59	0,19

Таблица 12

Состав водных вытяжек (I : IO) ательских лессовых грунтов
(Волжский опорный разрез, шурф - 8)

Глубина отбора, м	рН	мг - экв. на 100 г грунта						ПО, %	Гипс
		Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-		
1,0	7,8	4,690	0,587	0,420	0,600	1,557	3,540	0,40	0,16
2,0	8,6	4,191	0,047	0,047	0,900	1,335	2,050	0,30	0,16
3,0	8,4	2,300	0,066	0,070	0,900	1,516	3,740	0,40	0,14
4,0	7,9	7,957	0,138	0,167	0,800	2,132	5,330	0,53	0,14
5,0	8,2	7,846	0,146	0,183	0,700	1,285	6,190	0,51	0,05
6,0	8,3	4,479	0,097	0,101	0,400	0,685	3,390	0,30	0,05

Аналитик И.В.Ольшевская

/ Хим. лаб. "Зарубежгеология"/

жений Нижнего Поволжья, которые помимо хлоридного типа засоления имеют и содовое засоление. Аллювиальные отложения второй террасы, аналог ательских пород, реки Большой Узень в районе г. Новоузенск (за пределами Прикаспийской впадины) перекрыты маломощными морскими отложениями раннехвалынского возраста и являются средnezасоленными грунтами с содовым типом засоления. Ательские отложения Волгоградского Заволжья, находящиеся ниже уровня грунтовых вод, существенно рассолены и являются незасоленными и слабозасоленными грунтами с сульфатным или хлоридно-сульфатным типом засоления. Средnezасоленные разности приурочены к верхним горизонтам толщи.

Емкость обмена, определенная по методу Пфеффера /4, 74/, ательских лессовидных суглинков не превышает 30 мг-экв на 100 г грунта, в среднем составляет 8-19 мг-экв на 100 г грунта в Нижнем Поволжье, в Волгоградском Заволжье несколько выше 20-24 мг-экв на 100 г грунта, что объясняется более высоким содержанием глинистых минералов. В обменном комплексе ательских отложений суммарно преобладают кальций и магний, соотношение между ними близко 1 : 1, но под горизонтами шоколадных глин в кровле ательских отложений магний иногда преобладает над кальцием и соотношение достигает 1 : 3 и более (табл. 13). Отдельные анализы показывают существенное содержание поглощенного натрия, что может быть обусловлено связыванием обменного кальция с сульфат-ионом (см. ниже).

Анализ щелочных вытяжек (5% KOH) показывает невысокое содержание аморфного кремнезема и глинозема, которые в средних и легких лессовидных суглинках составляет 0,2-0,5% и 0,01-0,04% соответственно.

Данные солянокислых вытяжек (5% HCl) указывают на преобла-

Таблица 13

Обменные основания хвалынских и ательских отложений,
 левый берег р. Ахтубы, г. Волжский

№ образца	Возраст $m D_{III}^{IV}$	Глубина H, м	Ca^{++}		Mg^{++}		Na^+		K^+		$\frac{Na^+}{Ca^{++}}$	$\frac{Ca^{++}}{Mg^{++}}$	Σ мг-экв.
			мг-экв.	мг	мг-экв.	мг	мг-экв.	мг	мг-экв.	мг			
200		1,0	15,91	318,20	11,47	137,64	5,47	125,68	0,37	14,34	0,34	1,39	33,22
210		1,7	7,11	142,20	10,01	120,12	19,255	442,68	0,485	18,97	2,71	0,71	36,87
230		2,5	5,11	102,20	7,15	85,80	7,624	175,27	0,379	14,82	1,49	0,71	20,26
260		5,0	5,10	102,00	5,10	61,20	0,577	13,26	0,209	8,16	0,114	1,00	10,99

дание в породах растворимых в ней окислов алюминия и трехвалентного железа, кальция и магния, отмечается присутствие окислов марганца, двухвалентного железа (табл. 14). Высокое суммарное содержание MgO и CaO (5-8%) обусловлено преобладанием высокожелезистых гидрослюд и магнезиально-железистых хлоритов в глинистой фракции лессовых пород и зависит от глинистости последних. У лессовидных суглинков содержание MgO и CaO , как правило, более 7%, у супесей - 5-6%. Содержание окислов кальция и магния изменяется от 1 до 6 и более процентов и определяется карбонатностью и загипсованностью отложений.

Ательские лессовидные суглинки и супеси являются карбонатными и загипсованными грунтами. Содержание карбонатов изменяется от 2 до 8%, причем во всех изученных разрезах содержание карбонатов меньше в верхних горизонтах (рис. 53). В верхней части ательских пород к горизонтам среднего и сильного засоления приурочены скопления гипсовых конкреций различной формы: овальной, бобовидной, грушевидной и др. Размеры конкреций изменяются от 0,5 см до 3-4 см, иногда более. В районе поселка Райгород в ательской толще выделяется два горизонта, обогащенные конкрециями (см. описание райгородского разреза), в районе г. Волжского гипсовые конкреции встречаются до глубины 5-6 м практически повсеместно, но значительные скопления приурочены к верхней части (глубина 1,8-2,5 м). Описание формы конкреций, желваков, дутиков, состоящих из тонкокристаллического гипса, встречается у многих исследователей, начиная с П.А. Православлева /130/. Но изучение состава и причин возникновения в толще лессовых пород этих конкреций не проводилось. Ниже мы попытаемся осветить этот вопрос.

Для анализа строения и состава были взяты конкреции из верхних горизонтов ательских отложений, где они образуют значительные

Таблица I4

Результаты анализов соляно-кислых вытяжек лессовых грунтов ательского горизонта (шурф - 30).

№ образца	Глубина отбора, м	Результаты анализа, %									
		R_2O_3	MnO	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	но	ппн	Σ	FeO
22С	1,8-2,0	7,90	0,12	2,06	5,19	0,27	0,36	8,38	72,54	97,52	0,70
23С	2,3-2,5	5,75	0,10	1,54	4,83	0,27	0,21	8,08	75,20	96,56	0,35
24С	2,8-3,0	5,40	0,07	1,67	3,76	0,21	0,21	6,78	78,64	97,11	0,58
25С	3,8-4,0	5,50	0,08	1,41	3,40	0,14	0,21	6,06	80,12	97,19	0,27
26С	4,1-4,2	6,00	0,09	1,54	3,58	0,17	0,27	6,74	78,18	96,77	0,20
27С	4,3-4,5	5,70	0,12	1,54	4,29	0,21	0,27	7,48	76,56	96,39	0,22

скопления: из тяжелого лессовидного суглинка (райгородский разрез, глубина 3,0-3,5 м) и из легкого лессовидного суглинка (волжский разрез, глубина 2,0-2,2 м). Конкреции состоят из тонкокристаллического гипса, кристаллы расположены хаотично в глинистой массе (рис. 30). Содержание гипса в конкрециях составляет 61,8-62,2%, содержание карбонатов 8,4-7,6% (по методике совместного определения гипса и карбонатов) /106/. Помимо содержания гипса и карбонатов в конкрециях анализировалось валовое содержание гипса и карбонатов в породе, содержание рассеянного гипса после тщательного отбора всех гипсовых конкреций (совместно с Н.А.Ларионовой). Проведенные исследования показали, что содержание гипса составляет 4,84-14,25%, карбонатов 9-11,8%; рассеянного гипса нет, содержание карбонатов остается постоянным (табл.15). Отсутствие гипса в грунтах в рассеянном виде показывает, что весь гипс находится в виде конкреций. Происхождение гипсовых аккумуляций в глинах и почвах, по А.И.Перельману, может быть обусловлено миграцией сульфатно-натриевых вод среди горных пород, поглощающий комплекс которых насыщен кальцием. Сульфатно-натриевые воды обменивают натрий на обменный кальций породы, который соединяясь с сульфат-ионом раствора, образует гипс - труднорастворимую соль /118, 119/. Приуроченность мелких конкреций гипса размером до 0,5 см к вертикальным макропорам (для больших конкреций подобную зависимость определить не удалось) лессовых грунтов доказывает, наряду с отсутствием гипса в рассеянном виде, гипергенное происхождение гипсовых конкреций (рис.31).

На промачивание ательской толщи морскими водами раннехвалынского бассейна указывает значительное содержание в водных вытяжках ионов натрия и хлора, определяющего тип засоления ательских лессовых пород. Присутствие значительного количества в вод-

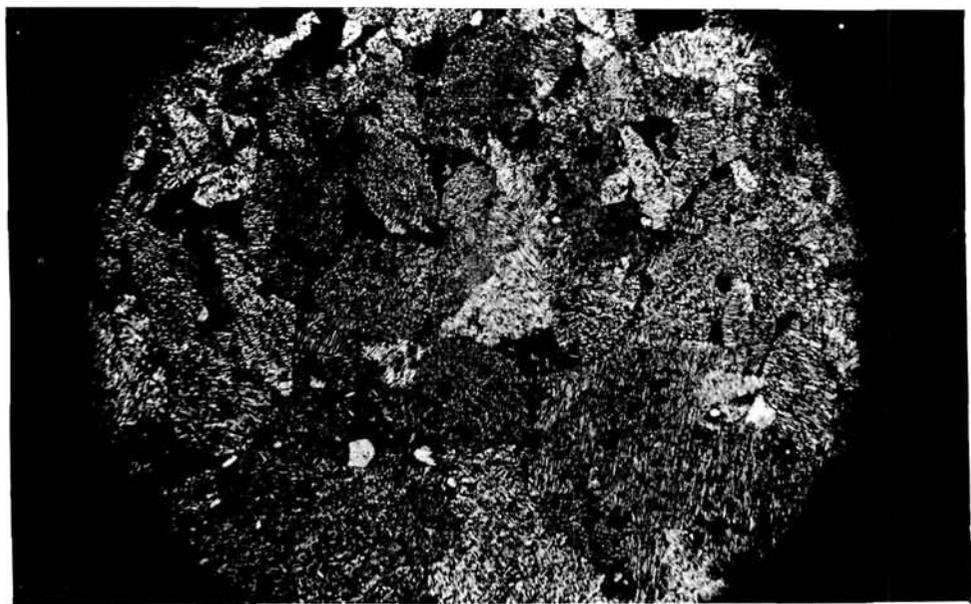
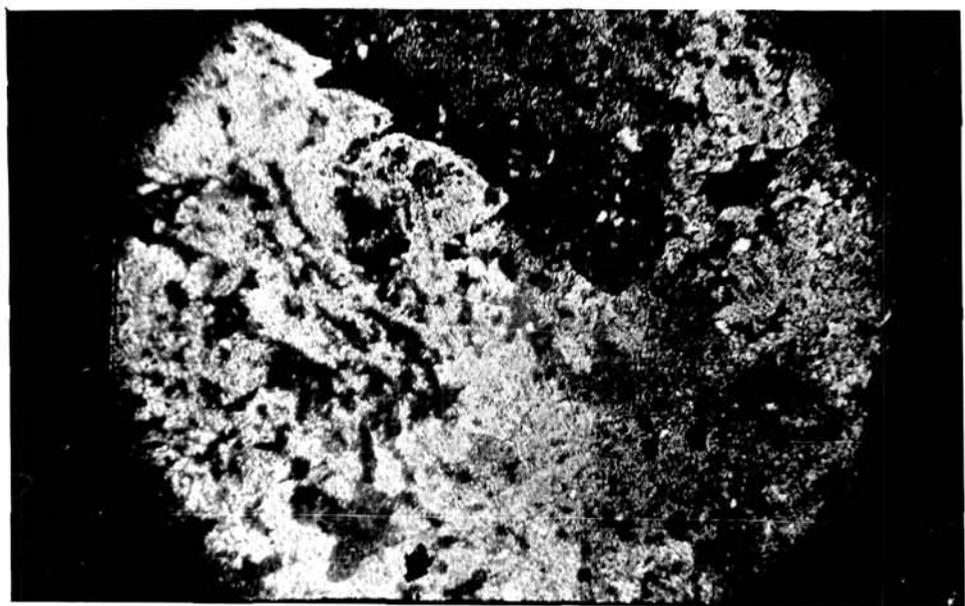


Рис. 30 . Микростроение гипсовых конкреций в шлифах:
"А" - из ательских отложений Райгородского
опорного разреза, гл.3,3 - 3,5 м, "Б" - из
ательских отложений Волжского опорного раз-
реза, гл.2,0 - 2,2 м /николи скрещены/.

Таблица 15

Содержание гипса и карбонатов в сильнозасоленных разностях
ательских лессовых пород.

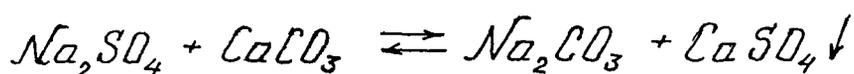
№ ПП	№ образца	Глубина отбора, м		Название грунта по С.С.Морозову. Место отбора образца	$CaCO_3$		$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	
		от	до		мг-экв.	%	мг-экв.	%
1	I0C	3,3	3,5	тяжелый лессовидный суглинок, правый берег р.Волги 1км севернее п. Райгород	393,39	11,80	165,71	14,25
2					279,13	8,38	718,80	61,82
3	IIC	2,0	2,2	средний лессовидный суглинок, ш-Ю юго- восточнее г. Волжского, раннехвалынская аккумулятивная равнина	318,19	9,54	-	-
4					300,07	9,00	56,33	4,84
5					253,91	7,61	723,98	62,26

1,3 - грунт, содержащий гипсовые конкреции; 4 - средняя проба;
2, 5 - гипсовые конкреции.



Рис. 31. Приуроченность мелких гипсовых конкреций к вертикальным макропорам (Волжский опорный разрез, шурф - 30, гл. 2,4 - 2,6 м).

ных вытяжках $Сe'$ по сравнению с HCO_3' является не типичным для континентальных отложений /44, 45, 163, 162/. Можно предположить, что процесс аккумуляции хлоридов натрия, магниевых солей, обусловивших "морской" тип легкорастворимых солей, произошел в современную эпоху, после регрессии раннехвалынского бассейна. Как показали исследования, современное воздействие поровых растворов морских отложений на солевой состав и глинистые минералы (см. выше) ограничивается небольшой зоной мощностью от 0,5 до 0,8 м, к которой часто приурочены скопления гипсовых конкреций. Образование гипсовых конкреций более глубоких горизонтов, формирование состава легкорастворимых солей на территориях, покрытых морскими глинами, обусловлено промачиванием толщи водами раннехвалынского бассейна, когда поровые воды ательских отложений были гидравлически связаны с морскими водами, определяющими постоянный привнос сульфата натрия. Образование гипсовых накоплений может быть обусловлено не только обменными реакциями, но и за счет взаимодействия сульфатно-натриевых вод с карбонатами кальция по реакции Е.Гильгара /119/:



Для её реализации необходим постоянный отток вод (просачивание сульфатно-натриевых вод через карбонатные горные породы). Реакции благоприятствует высокое содержание CO_2 в водах, повышающее растворимость $CaCO_3$ /90, 196/. Очевидно, в условиях современного аридного климата интенсивное промачивание толщи затруднено. Наиболее значительно промачивание (до 5-6 м) наблюдается в районах развития западного микрорельефа, где морские отложения либо отсутствуют, либо имеют крайне незначительную мощность, поэтому инфильтрующиеся атмосферные осадки не могут (в достаточной степени для протекания вышеприведенной реакции) обогащаться Na_2SO_4

3.3. Физические свойства.

3.3.1. Плотность твердых частиц

Плотность твердых частиц определяется минеральным составом грунта /I5I/. Она увеличивается с повышением содержания в грунтах тяжелых компонентов. В ательских песчаных грунтах содержание минералов тяжелой фракции незначительно и составляет до 0,6% (см. стр. 107), поэтому плотность твердых частиц ательских песчаных грунтов определяется минеральным составом легкой фракции, где существенно преобладает кварц, изредка встречаются отдельные зерна хлорита, полевых шпатов, кремния и других минералов. Плотность твердой фазы песков ательского горизонта остается практически постоянной, её значения составляют 2,66-2,68 г/см³, иногда встречаются чистые кварцевые пески со значением плотности твердых частиц 2,65 г/см³.

Плотность твердых частиц лессовидных супесей и суглинков меняется в более широких пределах, хотя также является величиной достаточно постоянной. Для лессовидных супесей она составляет 2,68-2,71 г/см³, а для суглинков - 2,71-2,75 г/см³, редко более. Повышенные значения для суглинков объясняются, очевидно, высокой карбонатностью, где среди карбонатов наблюдаются доломит, магнетит и, возможно, сидерит; а также сильным ожелезнением, придающим породе бурую, светло-коричневую окраску.

3.3.2. Плотность влажного грунта

Плотность влажного грунта зависит от минерального состава, влажности и характера сложения (пористости) грунта /I5I/.

Плотность ательских связных грунтов, имеющих практически постоянный минеральный состав, незначительное содержание минералов тяжелой фракции, определяется их пористостью и влажностью.

Пористость ательских лессовых грунтов Нижнего Поволжья, слагающих зону аэрации, изменяется от 33-34% до 47-48%, а их влажность изменяется от 5 до 18%, редко более. При этом плотность лессовидных суглинков и супесей составляет от 1,56 до 2,00 г/см³, единичные образцы имели плотность как выше, так и ниже этих значений. Наиболее характерной плотностью ательских лессовых грунтов является 1,66-1,90 г/см³.

Анализ ательских грунтов Волгоградского Заволжья и Волго-Уральского междуречья, залегающих ниже уровня грунтовых вод, показал, что эти грунты являются практически водонасыщенными (коэффициент водонасыщения 0,95-1,00), а величина их плотности колеблется обычно от 2,03 до 2,13 г/см³, составляя в среднем 2,07 г/см³.

Зависимость плотности лессовидных суглинков и супесей от влажности и пористости показана на рис.32. Из анализа полученной зависимости видно, что плотность грунтов прямо пропорциональна влажности и обратно пропорциональна пористости. Вместе с тем при одновременном увеличении пористости и влажности, когда на один процент прироста пористости приходится 1,7% прироста влажности плотность ательских лессовидных супесей и суглинков остается практически неизменной. Линии равных плотностей образуют с осью абсцисс угол 60° (рис.32). Наибольшие градиенты плотности наблюдаются в направлениях, перпендикулярных линиям равных плотностей.

В целом в разрезах ательских отложений отмечается закономерное увеличение плотности с глубиной. Особенно хорошо эта зависимость прослеживается вблизи зеркала грунтовых вод, когда плотность быстро увеличивается, достигая значений 2,00-2,15 г/см³. Верхние части разрезов обычно более пористые и менее влажные, а следовательно, и менее плотные. Однако на фоне общего роста плот-

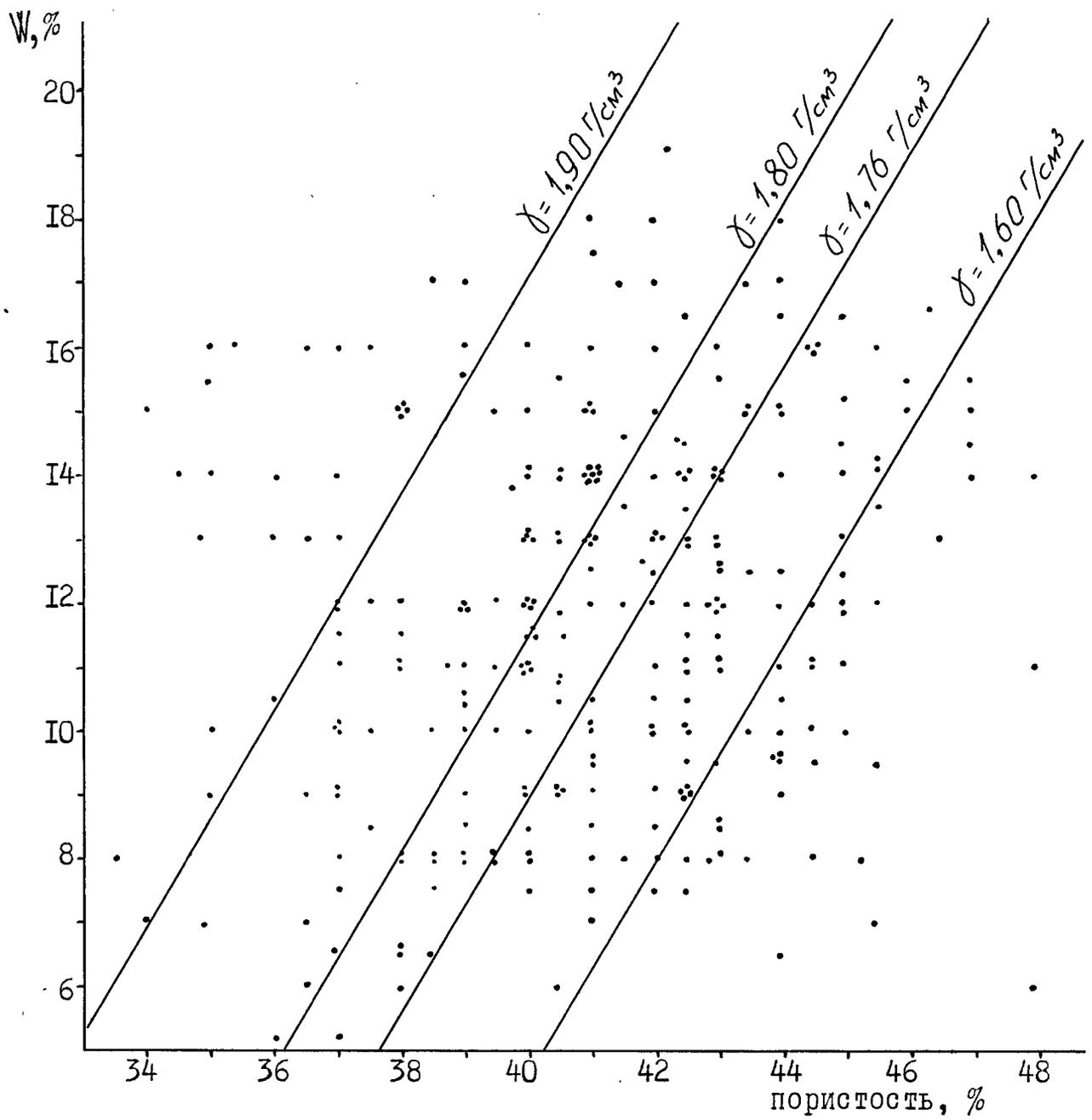


Рис. 32. Характер зависимости плотности ательских лессовых грунтов от влажности и пористости (зона аэрации, Нижнее Поволжье).

ности ательских лессовых пород с глубиной встречаются отдельные разности, характеризующиеся пониженными значениями плотности (см. раздел 3.6.).

3.3.3. Плотность скелета грунта и пористость

Плотность скелета грунта и пористость - две важнейшие характеристики, определяющие проницаемость, а вместе с влажностью, определяющие прочностные, деформационные свойства и просадочность. По мнению большинства исследователей /II, 88, 59, 50, 51, 78, 85/ плотность скелета и пористость лессовых пород отражает условия формирования, направленность и характер гипергенных процессов. Однако при этом, плотность скелета и пористость рассматриваются как следствие первоначальной недоуплотненности лессовых пород /50, 51, 59, 78/ или как результат их гипергенного разуплотнения /34, 98-103, 148, 153, 154, 158, 159/.

Плотность скелета и пористость грунтов связаны друг с другом линейной зависимостью. Анализ распределения пористости и плотности скелета грунтов, проведенный для ательских лессовых грунтов зоны аэрации (Нижнее Поволжье, левобережье Ахтубы) и для ательских пород, находящихся ниже уровня грунтовых вод (Волгоградское Заволжье, раннехвалынская аккумулятивная равнина) представлен на рис.33 и 34. Для ательских пород зоны аэрации наиболее характерными значениями плотности скелета являются 1,52-1,64 г/см³, составляющие 64% всех определений, при этом пористость колеблется в пределах 39-44%. Более плотные разности с пористостью менее 39% составляют 24%, а более рыхлые (с пористостью более 44%) - 12%, при этом среди ательских лессовых пород не встречаются разности с пористостью более 49%. Пористость (плотность скелета грунта) и состояние массива лессовых пород

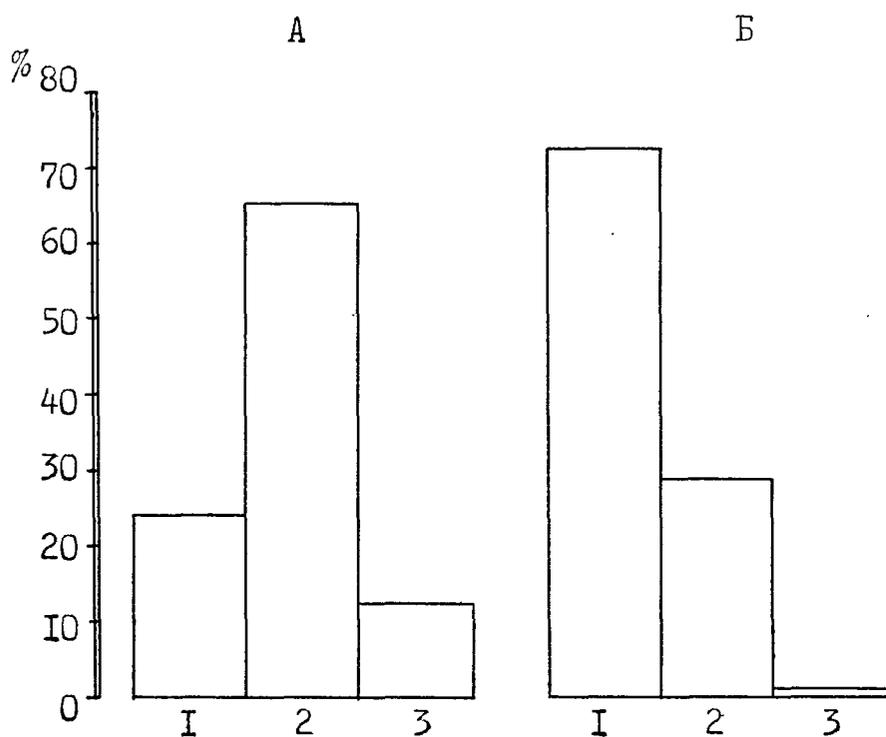


Рис. 33. Гистограммы распределения пористости ательских
лессовых пород: А - зоны аэрации (Нижнее Поволжье)
Б - ниже уровня грунтовых вод (Волгоградское
Заволжье);
1. $n < 39\%$
2. $39\% \leq n \leq 44\%$
3. $n > 44\%$.

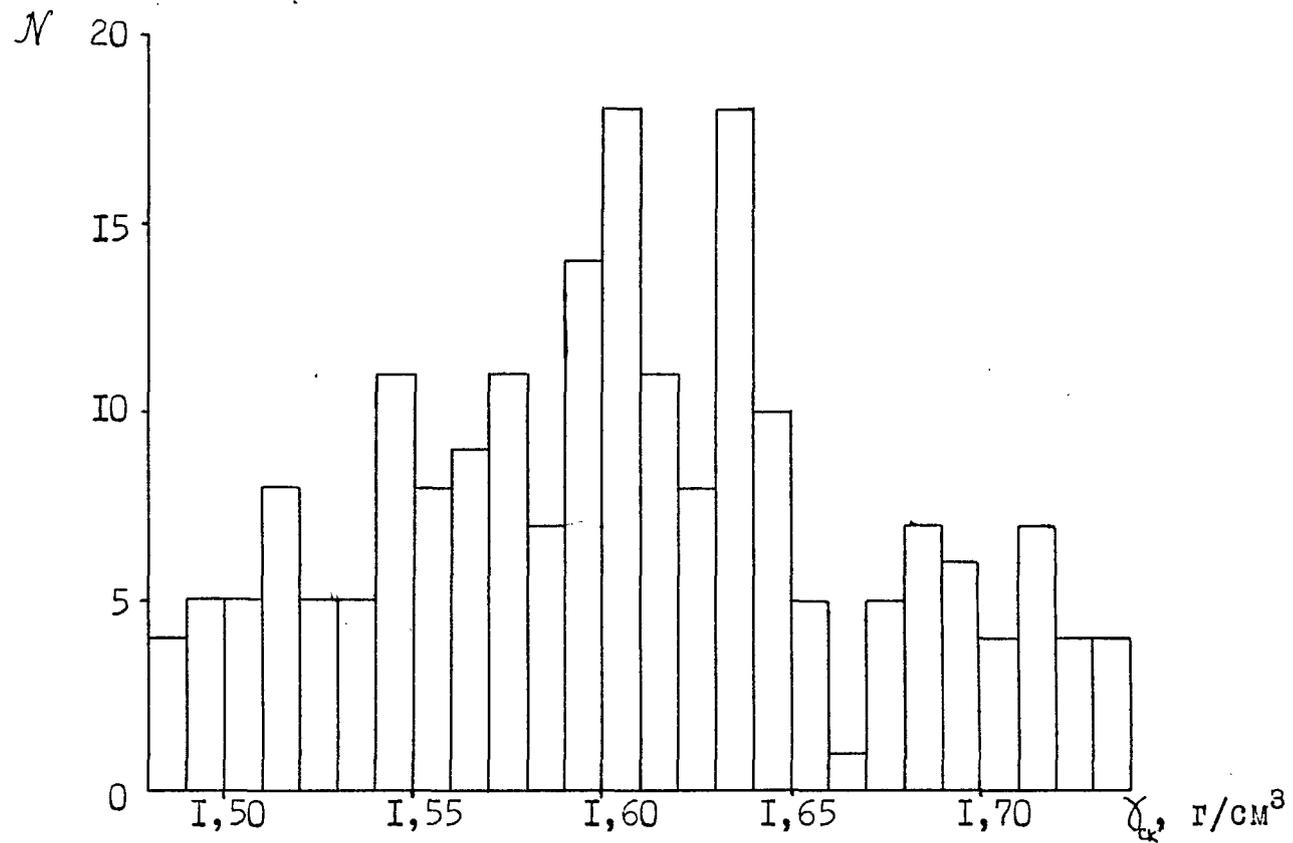


Рис. 34. Гистограмма распределения плотности скелета ательских пород зоны аэрации Нижнего Поволжья (200 определений).

(влажность и распределение природных давлений) должны находиться в соответствии, согласно "принципу Денисова" /59/, друг с другом: с глубиной залегания и по мере роста влажности должны закономерно изменяться характеристики плотности, тем более, что ательские породы в своей истории были замочены водами раннехвалынского бассейна, то есть были полностью водонасыщены. Однако для ательских лессовых пород зоны аэрации не наблюдается никаких связей между пористостью (плотностью скелета грунтов), с одной стороны, и глубиной залегания и влажностью пород, с другой. Высокопористые (более 44%) грунты отмечаются во всем диапазоне глубин (до 9 м), то же относится и к наиболее плотным разностям. Очевидно, отсутствие какой-либо связи между состоянием пород и их плотностью скелета объясняется не их недоуплотненностью в процессе развития, а какими-либо другими причинами. К этим причинам надо отнести, в первую очередь, развитие многолетнемерзлых пород на изучаемой территории после регрессии раннехвалынского бассейна.

В Волгоградском Заволжье ательские отложения, представленные преимущественно лессовидными суглинками, залегают ниже уровня грунтовых вод на глубинах от 4 до 12 м. Среди них преобладают в основном плотные разности с пористостью менее 39%. Но и в этом случае не наблюдается прямой зависимости плотности скелета грунтов от глубины их залегания.

3.4. Естественная влажность, пластичность и виды воды.

Инженерно-геологические свойства и, главным образом, просадочность лессовых пород существенно зависят от количественного соотношения в составе жидкой фазы связанной и свободной воды /151/.

Для оценки роли отдельных видов воды в естественном состоянии изучаемых лессовых пород производилось определение их характерных влажностей: гигроскопической, максимальной гигроскопической, максимальной молекулярной влагоемкости и показателей пластичности. Определение и расчет всех показателей влажности проводились по стандартным методикам /179, 89/.

Естественная влажность ательских пород определяется рядом факторов: климатом, временем года и условиями залегания.

Ательские лессовидные суглинки и супеси зоны аэрации (Нижнее Поволжье) характеризуются преимущественными значениями естественной влажности от 8 до 17%, причем суглинки обладают несколько большей влажностью, чем супеси (рис.35). В основании толщи распределение естественной влажности определяется положением уровня грунтовых вод. Ательские отложения являются водоносным горизонтом на большей части Волго-Уральского междуречья (рис.14), где характеризуются полным водонасыщением ($0,80 \leq G \leq 1,0$) и значениями влажности 20-24%, консистенция суглинков изменяется от полутвердой до текучепластичной, супеси - пластичные (по СНиП II-15-74). В аналогичное состояние переходят ательские лессовые породы Нижнего Поволжья при подтоплении городских территорий (этот процесс имеет широкое развитие на территории г.Волжского).

Из рис.36 видно, что лессовидные суглинки ательского возраста Нижнего Поволжья характеризуются невысокими показателями пластичности. Преобладающие значения предела текучести 22-28%, предела раскатывания 14-17% и числа пластичности 7-12%. Ательские лессовидные суглинки Волгоградского Заволжья обладают более высокими показателями пластичности, но максимальные значения предела текучести не превышают 40%, предела раскатывания 28-30% и числа пластичности 18-19%. Лессовидные супеси из разрезов Нижнего По-

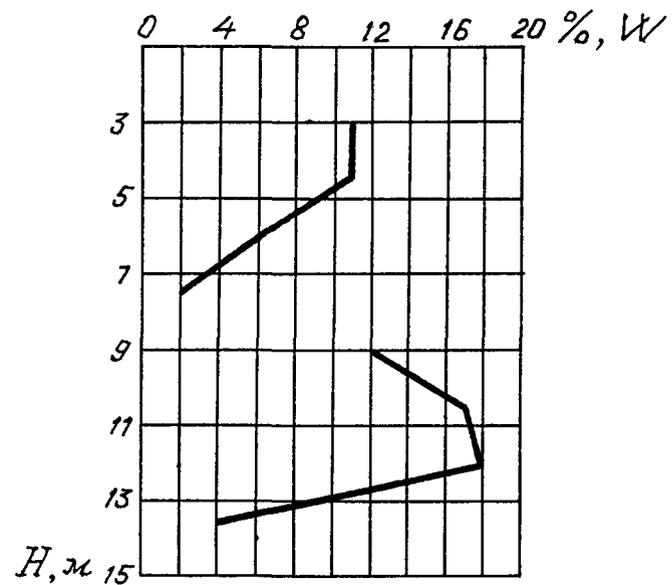
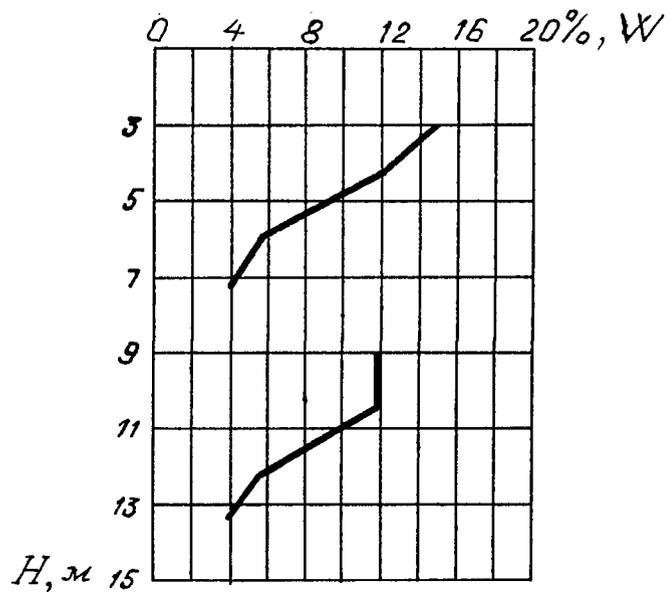


Рис. 35. Изменение влажности ательских пород с глубиной залегания под шоколадными глинами /А/ и в районах отсутствия шоколадных глин /Б/ по Светлоярскому разрезу /к рис. 26/.

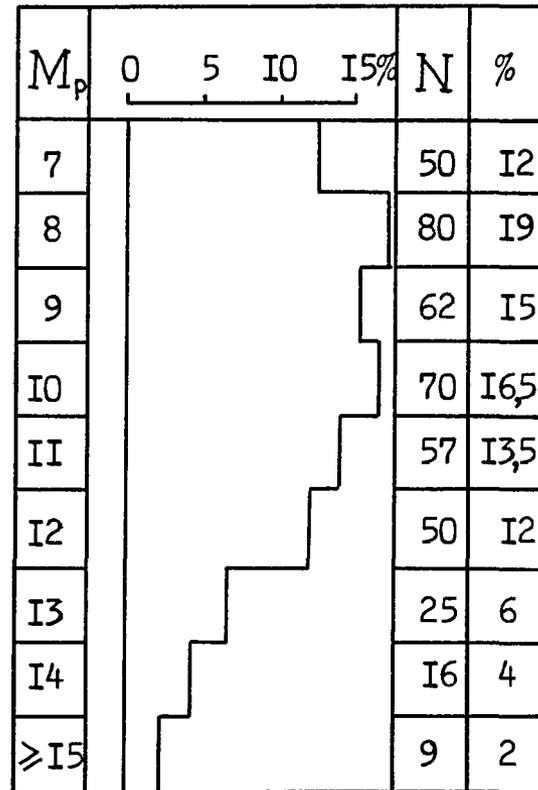
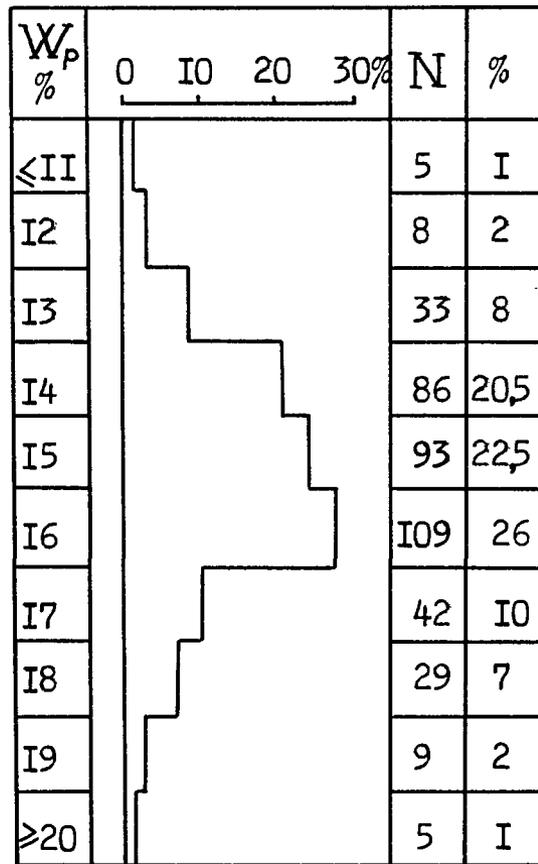
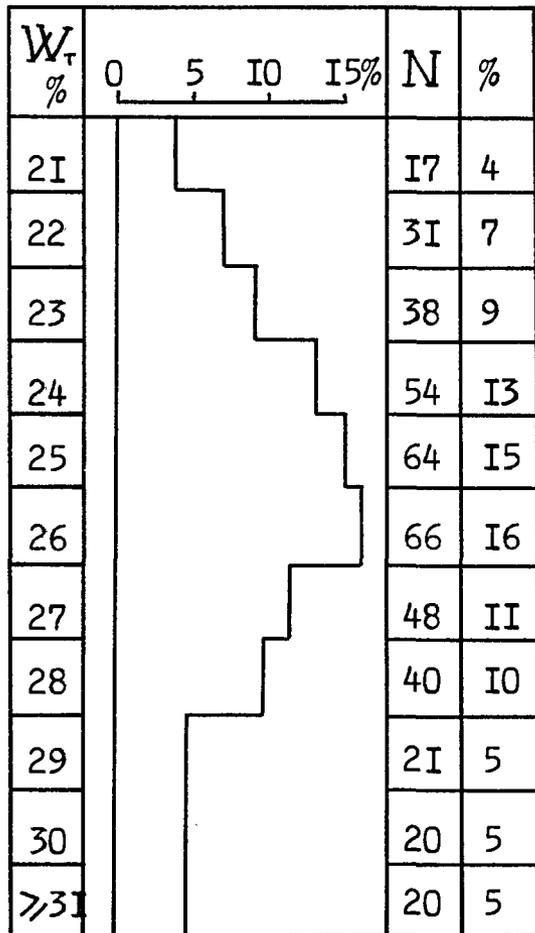


Рис. 36. Графики рассеяния показателей пластичности ательских лессовидных суглинков зоны аэрации Нижнего Поволжья (419 определений).

волжья характеризуются пределом текучести 17-21%, пределом раскатывания 14-16% и числом пластичности 2-7%. Ни один образец супеси не характеризуется пределом текучести более 23%, пределом раскатывания более 17% (рис.37). Среди ательских отложений Волго-Уральского междуречья лессовидные супеси встречаются крайне редко.

О роли отдельных видов и категорий воды в составе жидкой фазы лессовидных суглинков в условиях естественного залегания можно судить по количественному соотношению естественной влажности с гигроскопической, максимальной гигроскопической, максимальной молекулярной влагоемкостью и влажностью нижнего предела пластичности. Для исследований были взяты два образца тяжелого лессовидного суглинка средnezасоленные, четыре образца среднего лессовидного суглинка различной степени засоления и карбонатности. Характеристика исследованных грунтов приведена в табл.16. Из неё видно, что исследуемые грунты находятся в твердом состоянии в естественных условиях. Величина естественной влажности находится в пределах между влажностью максимальной гигроскопичности и влажностью нижнего предела пластичности ($W_{мг} < W_e < W_p$). Таким образом, изученные грунты в естественном состоянии содержат все разновидности прочносвязанной воды и часть осмотической и воды ультракапилляров /151, 61, 166/. Водонасыщенные грунты содержат все виды связанной воды. Содержание связанной воды при сходном составе /166, 169, 36, 151/ глинистых минералов определяется их содержанием. В средних лессовидных суглинках прочносвязанной воды содержится примерно в 2 раза меньше, чем в тяжелых, почти такое соотношение наблюдается в содержании глинистой фракции (табл.16). Содержание различных разновидностей прочносвязанной и слабосвязанной воды приведено в табл. 17.

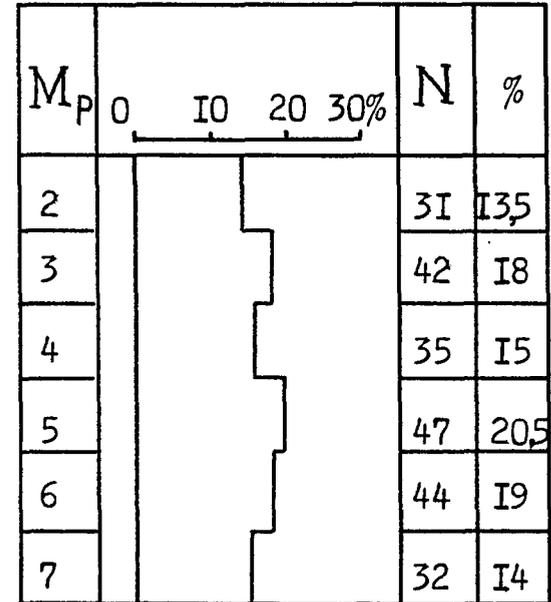
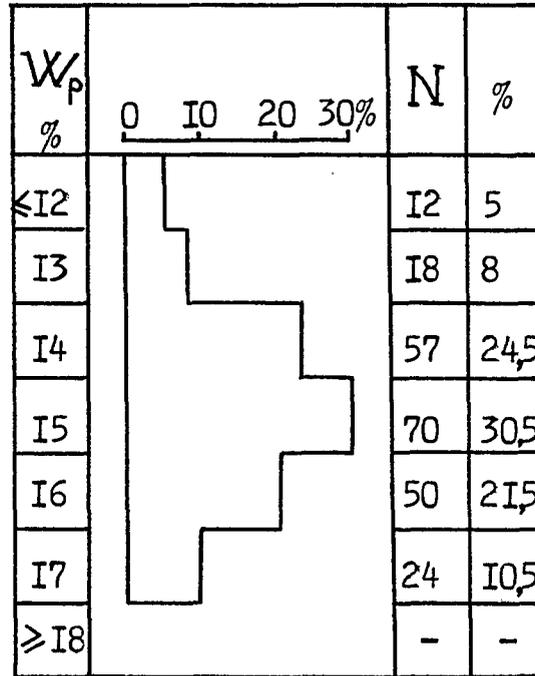
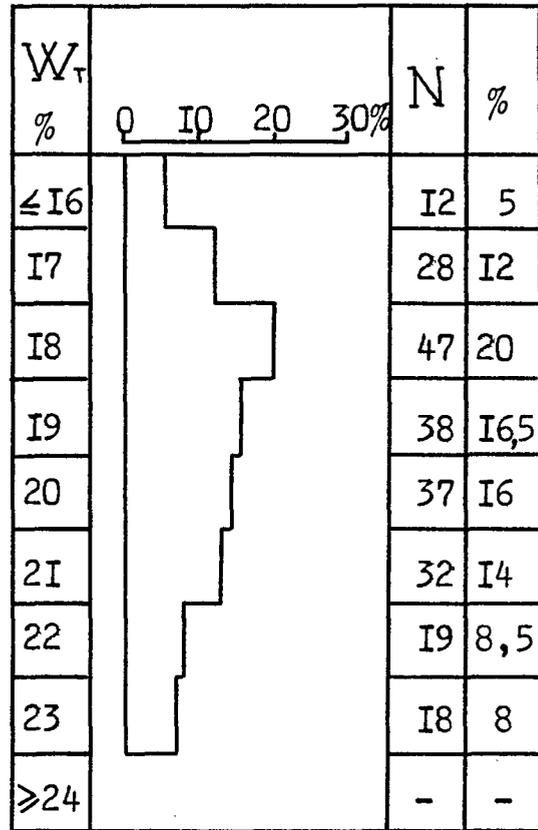


Рис. 37. Графики рассеяния показателей пластичности ательских лессовидных супесей зоны аэрации Нижнего Поволжья (23I определение).

Таблица 16

Влажностные показатели ательских лессовидных суглинков различной глинистости, карбонатности и засоленности.

№ образца	Глубина отбора, м		Место отбора	Название грунта по классификации С.С.Морозова	CaCO ₃ , %	Легкорастворимые соли, %	W _e , %	W _r , %	W _{жг} , % P/P _s =0,9	W _{жв} , %	Пределы пластичности, %		Содержание (%) частиц < 0,001мм
	от	до									W _r	W _p	
4С	3,3	3,5	Левый берег р.Ахтубы, 8 км южнее Пос. Средняя Ахтуба	Тяжелый лессовидный суглинок	5,15	1,10	12	1,80	8,9	10	36	19	24,0
5С	3,8	4,0			6,15	1,61	14	2,00	9,2	13	37	19	22,2
6С	5,0	5,2	Правый берег р.Волги, северная окраина пос. Черный Яр	Средний лессовидный суглинок	3,32	0,38	7	1,50	4,5	9	24	15	10,1
7С	5,8	6,0			4,97	0,36	10	1,50	4,5	10	23	16	16,6
0А-4	4,0	4,2	Левый берег р.Ахтубы 2км южнее г.Волжского	Средний лессовидный суглинок	7,13	1,02	10	1,44	5	11	27	18	13,0
0А-5	8,0	8,2			6,14	0,80	9	2,15	4,0	12	27	18	14,0

Таблица I7

Содержание разновидностей связанной воды в ательских лессовидных суглинках в естественных условиях.

Лаборатория №	Глубина отбора образцов м		Название грунта по классификации С.С. Морозова	Естественная влажность We, %	Прочность связанной вода, %		Слабо-связанная вода, %	Содержание глинист. фракции %
	от	до			Остаточной адсорбции	Поли-слойной адсорбции			Осмотическая вода ультракапилляров
4с	3,3	3,5	Тяжелый лессовидный суглинок	12	1,80	7,1	3,1	24,0
5с	3,8	4,0	— — — —	14	2,00	7,2	4,8	22,2
6с	5,0	5,2	Средний лессовидный суглинок	7	1,50	3,0	2,5	10,1
7с	5,8	6,0	— " — " — " —	10	1,50	3,0	5,5	16,6
ОА-4	4,0	4,2	— " — " — " —	10	1,44	3,56	5,0	13,0
ОА-5	8,0	8,2	— " — " — " —	9	2,15	1,25	5,0	14,0

Естественная влажность лессовых пород зависит от многих факторов (см. выше), в первую очередь величину влажности определяют условия залегания и строения толщи. В верхних горизонтах, в пределах верхнего ритма, естественная влажность убывает сверху вниз по мере перехода суглинков в супеси и пески (рис.35). В нижних частях разрезов ательских отложений вблизи грунтовых вод наблюдается увеличение влажности до полного водонасыщения вне зависимости от литологии отложения. В верхних горизонтах естественная влажность пород подвержена сезонным изменениям. Наибольшие сезонные изменения наблюдаются в толще ательских пород, не перекрытых морскими шоколадными глинами, а также под западинами, служащими местами скопления и инфильтрации ливневых и талых вод.

3.5. Структурно-текстурные особенности.

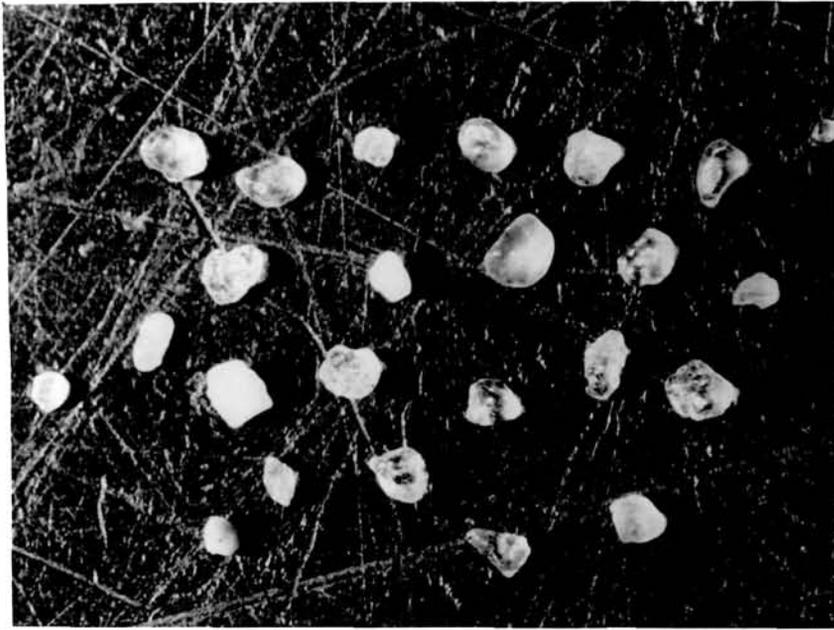
Ательские отложения Северного Прикаспия характеризуются однотипным строением на макро-, мезо- и микроуровнях в пределах каждой гранулометрические разновидности.

Структурно-текстурные особенности ательских отложений изучались визуально при описании пород в обнажениях, карьерах, образцах (микроуровень), при изучении гранулометрического и микроагрегатного состава (мезоуровень) и анализировались под биноклем (пески) и с помощью электронных сканирующих микроскопов "Квикскан - 107" и "S - 800" на микроуровне.

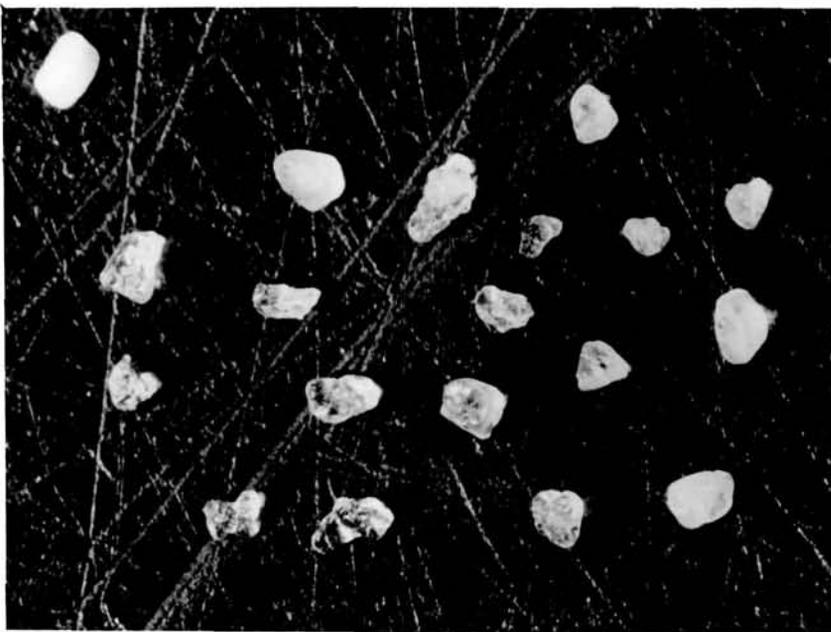
Как отмечалось выше, песчаные грунты ательского возраста слагают самостоятельные прослои, слои и линзы в толще ательских пород и связаны с перекрывающими лессовидными супесями и суглинками постепенным переходом. Среди песчаных грунтов по степени отсортированности зерен выделяются структуры чистых и пылеватых песков, которые подразделяются на средне-мелкозернистые, мелко-

зернистые и тонко-мелкозернистые. Преобладают чистые средне-мелкозернистые и мелкозернистые пески, часто встречаются чистые и пылеватые мелкозернистые и тонко-мелкозернистые пески, крайне редко встречаются чистые мелко-среднезернистые и пылеватые мелко-тонкозернистые пески. Причем изменение структурных особенностей песков происходит снизу вверх по разрезу, по мере перехода к лессовидным суглинкам и супесям (рис.25). В одном слое, прослое или линзе песчаных грунтов могут встречаться пески всех выделенных структур. Изучение морфологии структурных элементов песчаных грунтов показало, что они имеют разнообразную форму от округлой до полуокруглой, встречаются зерна со сложной конфигурацией /54, 120/. Кварцевые зерна фракции 0,25-0,10 мм песков, супесей и суглинков обладают значительным сходством формы при некотором уменьшении размера зерен (в пределах фракции) у суглинков и супесей (рис.39). Поскольку кварцевые зерна наиболее устойчивы к химическому выветриванию, форма и характер окатанности в основном определяются условиями транспортировки и отложения (генезисом) толщи /120, 116, 54, 139 и др./. Однако, наличие поверхностных образований на кварцевых зернах и разнообразие их формы не позволяет однозначно определить условия транспортировки песчаного материала ательских отложений. Хорошая отсортированность песков, характер слоистости служат подтверждением аллювиального генезиса песчаных грунтов ательского горизонта. Тесная связь песчаных грунтов с лессовидными суглинками и супесями, позволяет говорить о водном генезисе всей толщи (перигляциальный аллювий).

В разрезах ательских отложений Нижнего Поволжья среди песчаных грунтов выделяются с неслоистой (или скрытослоистой) и слоистой текстурами. По характеру слоистости текстуры песков

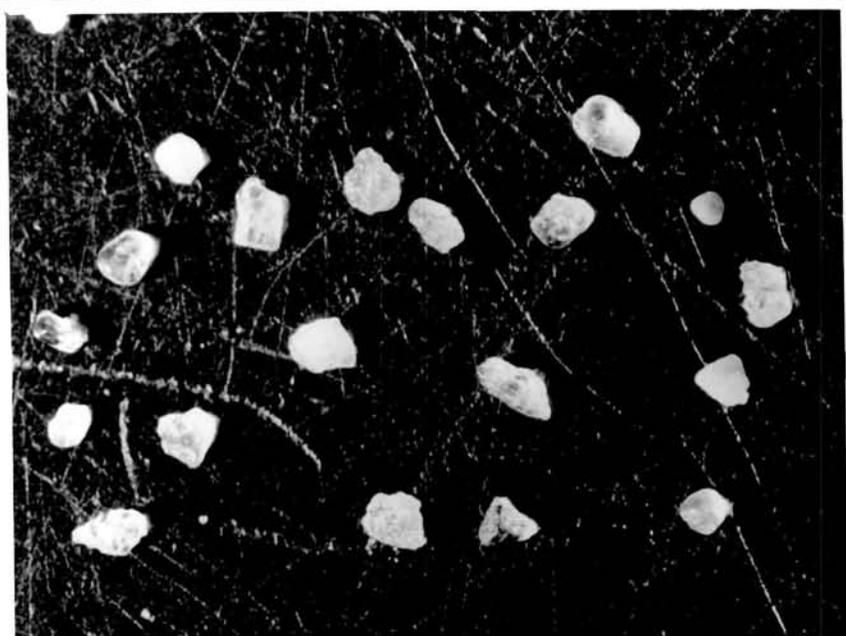


Средний лессовидный суглинок, глубина 2,4 - 2,6 м



Песок мелкозернистый чистый, глубина 3,9 - 4,0 м

Рис. 39.

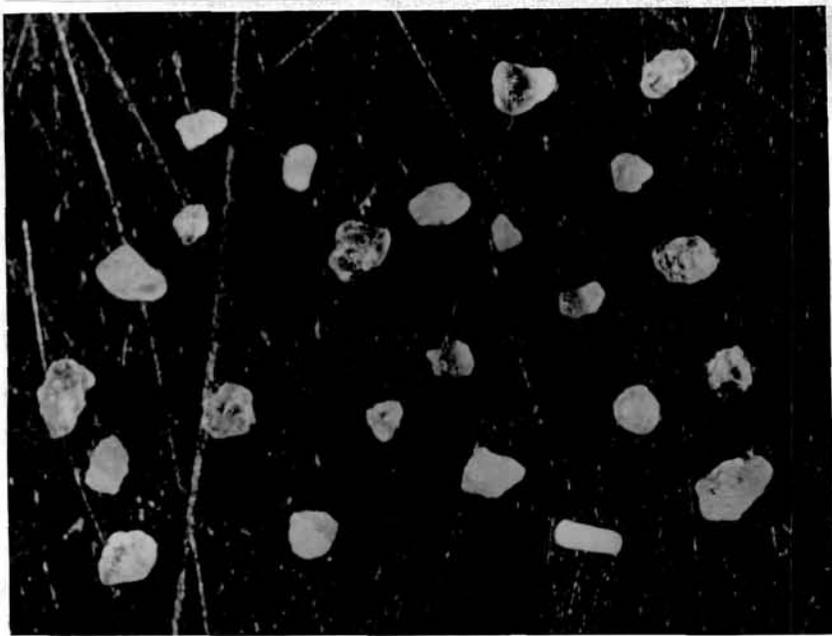


Песок средне-мелкозернистый чистый, глубина 4,2 - 4,4 м



Супесь лессовидная, глубина 5,3 - 5,5 м

Рис. 39.



Песок тонко-мелкозернистый пылеватый,
глубина 5,8 - 6,0 м.

Рис. 39 . Морфологические особенности кварцевых зерен
фракции 0,25 - 0,10 мм, поверхностные обра-
зования удалены (Волжский опорный разрез,
шурф - 30, см. таблицу 8).

подразделяются на косослоистые и косо-волнистослоистые. В песках ательского возраста преобладает слоистость "ряби течения" и "ряби волнения" /82, 139, 183, 185/. Слоистость подчеркивается переслаиванием слоев, состоящих из разных по крупности частиц, и ожелезнением по ним.

Для лессовидных суглинков и супесей наиболее характерной текстурой является массивная (неслоистая), в обнажении хорошо прослеживается столбчатая вертикальная отдельность (рис.40). В долинах рек Большого и Малого Узеней встречены ательские лессовидные суглинки с косослоистой текстурой, которая подчеркивается переслаиванием песчаных и глинистых прослоев (рис. 41).

Характерной особенностью ательских лессовых пород является их макропористость, хорошо различимая невооруженным глазом. Макропоры можно подразделить на две группы. Первая: фитогенные макропоры, образованы вследствие развития корневой системы растений, пронизывают практически всю толщу, характеризуются наличием в них стгнивших остатков корней, стенки макропор плотные, глинистые, часто имеют зеленовато-серый цвет (например, в ательских отложениях у поселка Русская Таловка на реке Большой Узень). Вторая: щелевидные, неправильной формы, вертикальные поры и каналы. По мнению А.А.Величко и А.К.Марковой /30/ такие макропоры образуются в процессе промерзания-оттаивания.

Изучение микростроения ательских лессовидных суглинков проводилось в лаборатории электронно-микроскопических исследований грунтов. Для анализа особенностей микростроения были взяты тяжелые лессовидные суглинки, средние лессовидные суглинки и образцы из зоны современного разуплотнения, отобранные из верхней части ательской толщи, не перекрытой шоколадными глинами. Характеристики вещественного состава и свойств данных образцов



Рис. 40 . Столбчатая отдельность в верхней части атель-
ских лессовидных суглинков (левый берег р.Ахту-
бы, 1км ниже рабочего поселка г.Волжский).

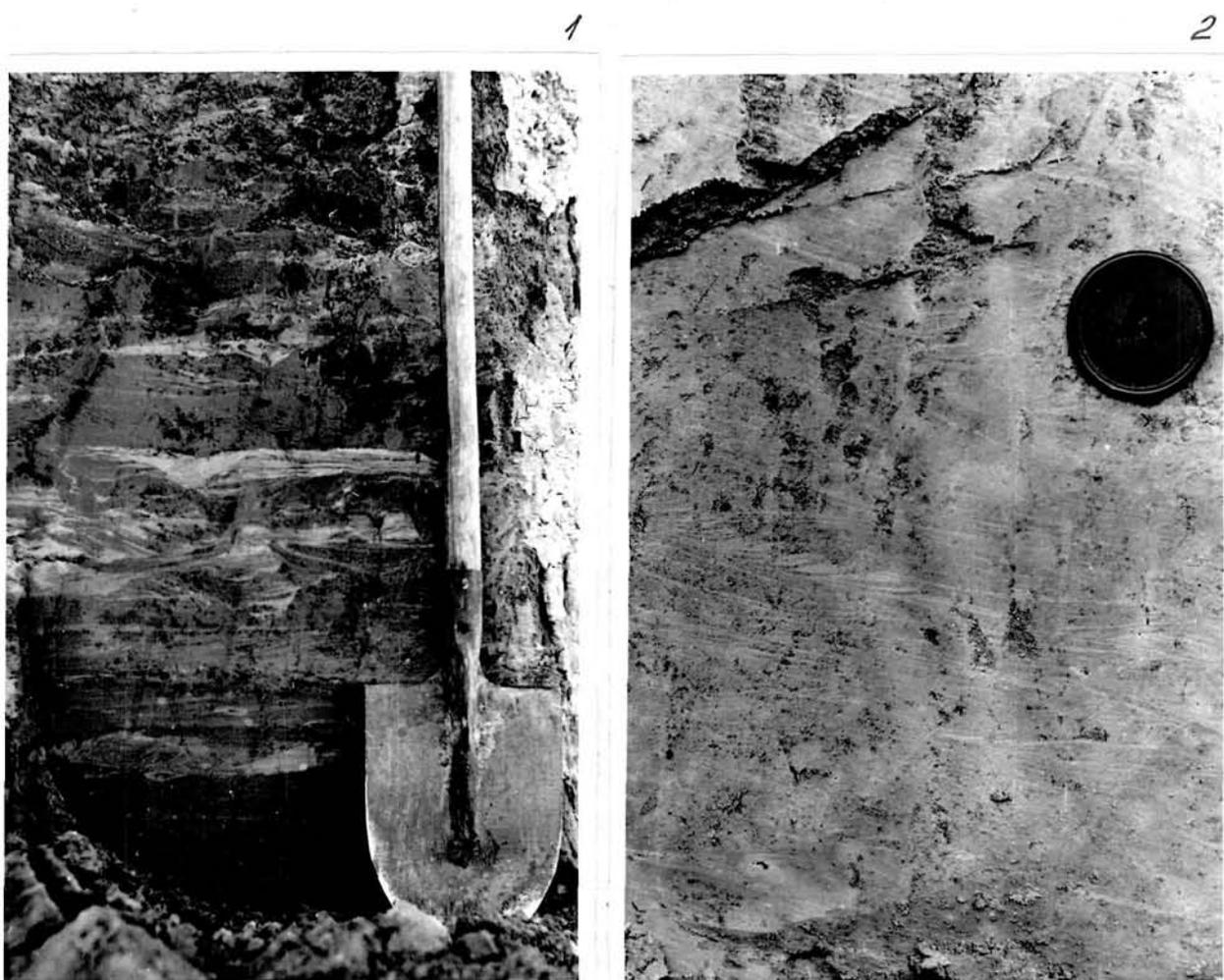


Рис. 41. Слоистость "ряби течения" в ательских суглинках:
1 - правый берег р.М.Узень, южнее пос.Жулдыз,
гл. 3,0м; 2 - левый берег р.Б.Узень у северной
окраины пос.Русская Таловка, слой №8.

приведена в таблице Ю. Из неё видно, что все грунты на 70-80% состоят из водоустойчивых агрегатов, состав минералов глинистой фракции преимущественно гидрослюдистый, монтмориллонит и смешанно-слоистые минералы присутствуют в количестве от 20 до 40%. Все грунты карбонатные, различной степени засоленные, реакция водной вытяжки щелочная ($\text{pH} = 7,9-8,1$).

Микроструктурные исследования проводились на микроскопах "Квикскан - 107" и "S - 800". Подготовка образцов к анализу осуществлялась методом вакуумной морозной сушки /115, 152/, под руководством В.Н.Соколова. Образец сначала просматривался, а затем фотографировался при нескольких увеличениях, при этом выбиралось 3-5 участков, характерных для данной породы. В ходе исследований отмечались характерные морфологические особенности микроструктур: соотношение глинистого и обломочного материала, ориентация микроструктурных элементов и характер контактов между ними, степень плотности микроструктуры, её поровое пространство /197/.

Исследования выбранных разновидностей грунтов показали, что главные структурные элементы представляют собой глобулярные микроагрегаты сложного строения /99, 100, 101, 151/, покрытые полиминеральной рубашкой (рис. 42-45). Среди ательских лессовых пород выделяется два основных типа микроструктур: скелетная и скелетно-ячеистая /115, 152/. Скелетная микроструктура преобладает у средних лессовидных суглинков (рис. 42). Упаковка структурных элементов плотная, поры щелевидные, хорошо выраженные вертикальные поры, не более одной-двух на образец, но они имеют ряд примечательных особенностей. В таких макропорах практически отсутствуют глинистые частицы на поверхности пылеватых зерен, которые покрыты только тонкой, вероятно, железистой или карбо-

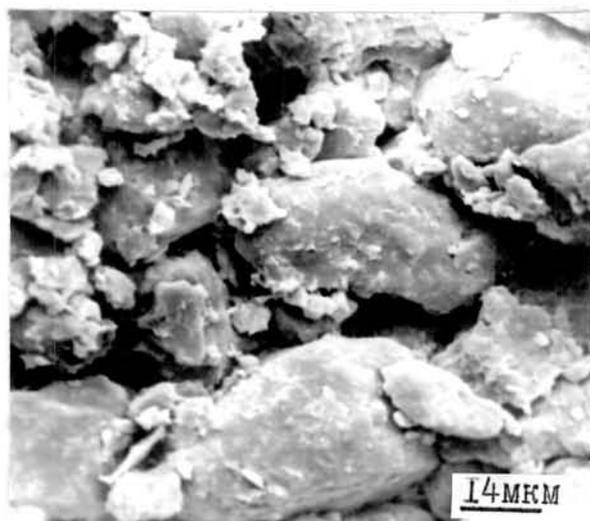


Рис. 42. Скелетная микроструктура среднего лессовидного суглинка (образец №0А-5, гл. 8,0 - 8,2 м).

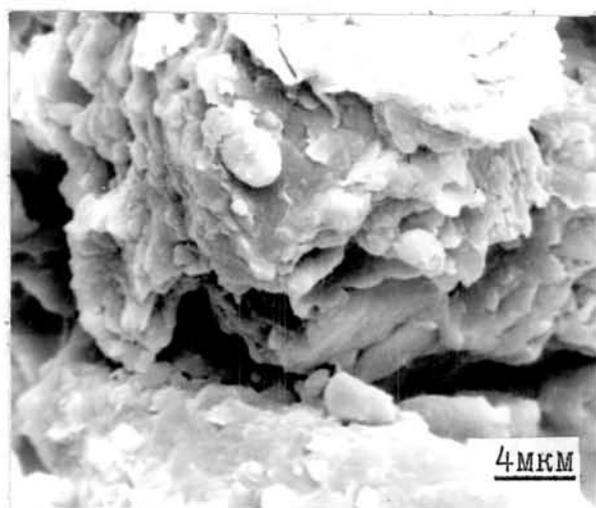
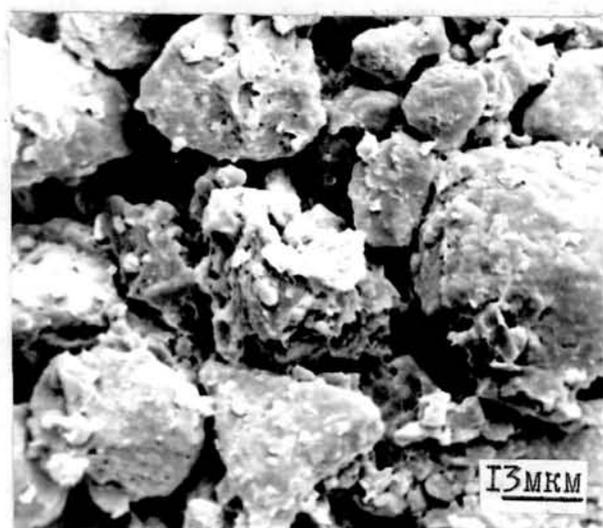
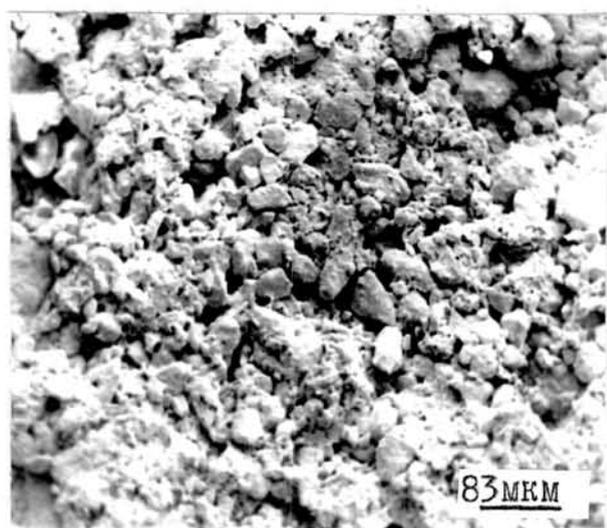
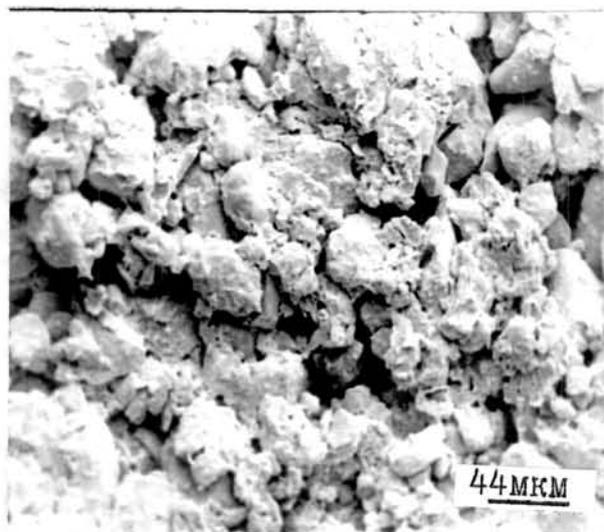


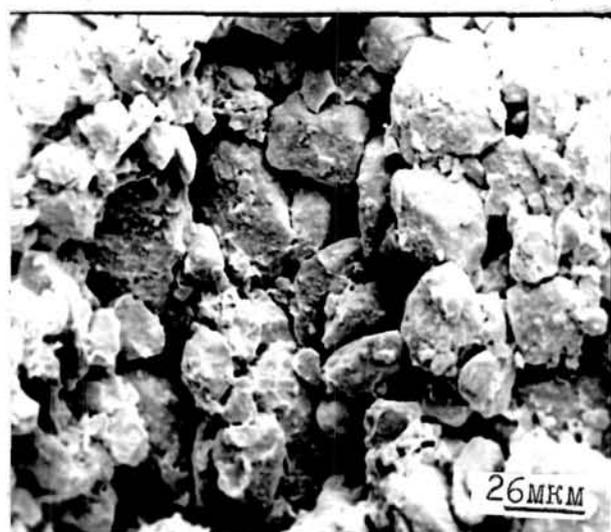
Рис. 43. Характер контактов структурных элементов друг с другом (средний лессовидный суглинок естественного сложения, образец №0А-5, гл. 8,0 - 8,2 м).



1

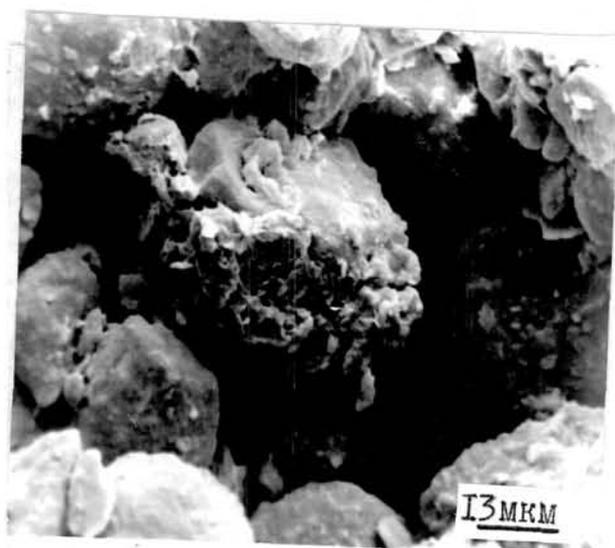


2

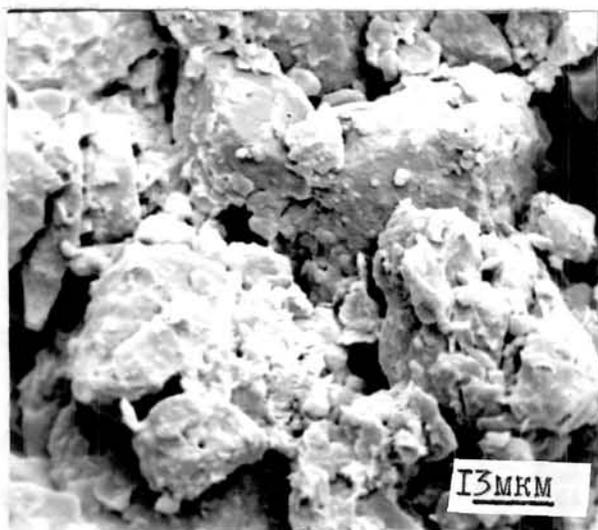


3

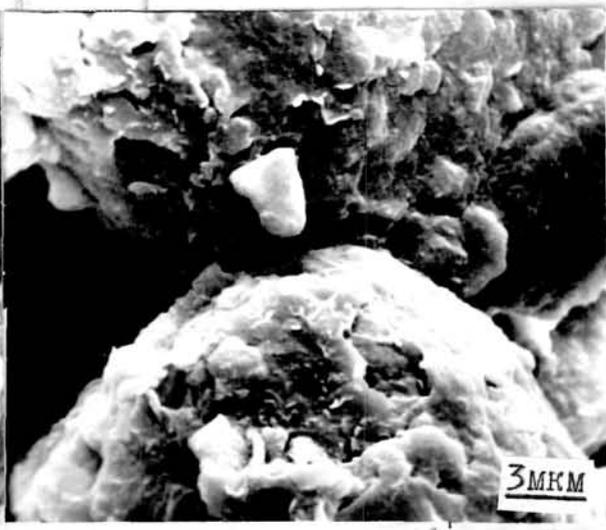
Рис. 44. Скелетная структура тяжелого лессовидного суглинка естественного сложения (образец №10С, гл. 3,3 - 3,5 м).



1



2



3

Рис. 45. Характер контактов между глобулярными микроагрегатами тяжелого лессовидного суглинка со скелетным типом микроструктуры (образец №10С, гл. 3,3 - 3,5 м).

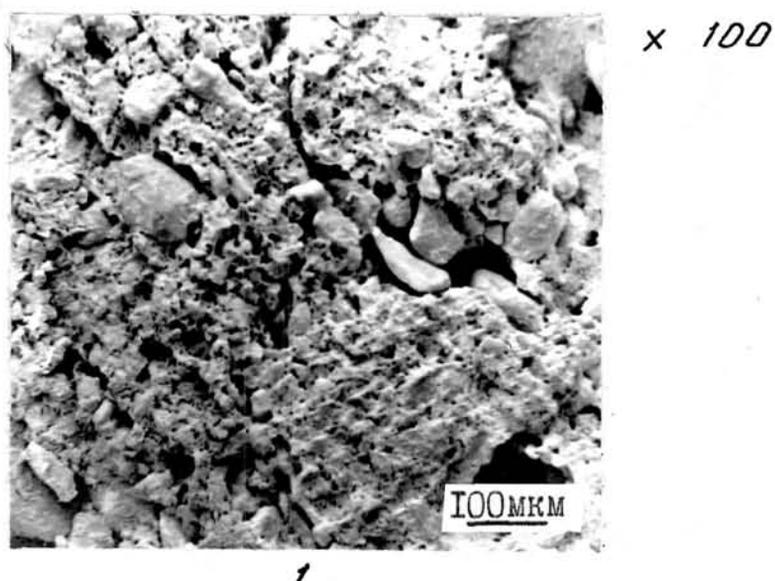


Рис. 46 . Микроструктура среднего лессовидного суглинка с вертикальными "промытыми" макропорами (шурф - 30, гл. 3,3 - 3,5 м).

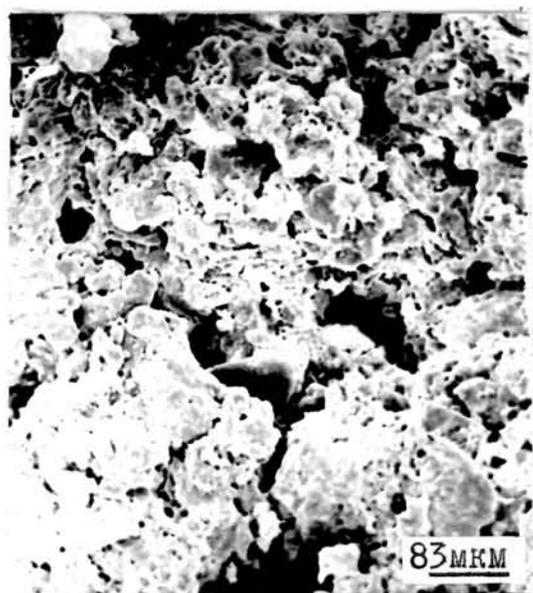
натной пленкой (рис.46). Формирование таких "промытых" макропор можно представить с периодическим процессом миграции влаги и газов, освобождающихся из порового раствора при промерзании /III/. Глинистый материал в образцах скелетной микроструктуры распределен неравномерно, основная его масса находится в виде "рубашек" на пылеватых частицах, часть присутствует на контактах пылеватых частиц друг с другом, контакты имеют большую площадь (рис.45). В строении скелетной микроструктуры тяжелого лессовидного суглинка отмечаются определенные особенности, отличающие её от скелетной микроструктуры среднего лессовидного суглинка. Скелетная микроструктура тяжелого лессовидного суглинка также состоит из глобулярных микроагрегатов, ядра которых сложены пылеватыми частицами первичных минералов. Отличия заключаются в распределении глинистого материала, который образует значительные скопления на поверхности "глобул" (рис.45), а на контактах пылеватых частиц друг с другом формирует своеобразные мостики (рис.44, 45). В местах значительного скопления глинистого материала на общем фоне скелетной микроструктуры выделяются участки со скелетно-ячеистой микроструктурой, где помимо первичных пылеватых частиц присутствуют шаровидные агрегаты глинистых частиц пылеватого размера (рис.47/2).

Другой выделенной микроструктурой является скелетно-ячеистая или зернисто-агрегативная (по А.К.Ларионову, 84, 86). Этот тип микроструктуры характерен для образцов тяжелого лессовидного суглинка. Скелетно-ячеистая микроструктура образована шаровидными микроагрегатами, соединенными друг с другом глинистыми мостиками, структура в целом очень рыхлая, ажурная с крупными порами (рис.47-49). Исследуемые грунты сильно засолены легко-растворимыми солями. На контакте глобулярных микроагрегатов

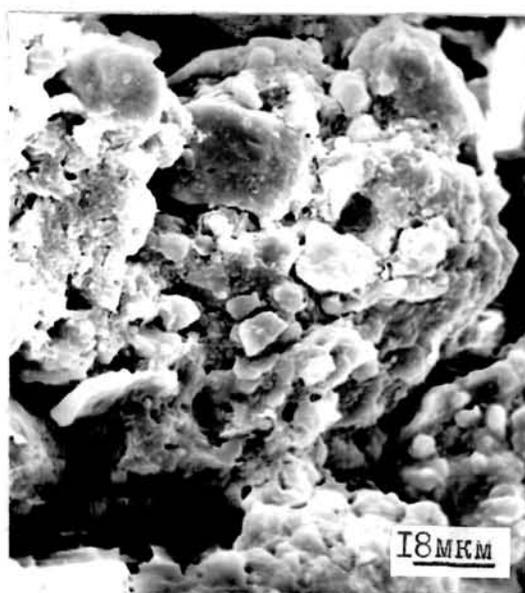
помимо глинистых частиц присутствуют соли, характер контакта сложный (рис. 47/3 и 4).

Определенный интерес представляет микрострение образца среднего лессовидного суглинка, отобранного с глубины 2,0 м. В разрезе четвертичных отложений нижнехвалыньских шоколадных глин нет, поэтому верхняя часть ательских отложений находится в зоне периодического изменения влажностного режима в процессе увлажнения-высушивания, в зоне постоянной вертикальной миграции влаги. Значительная относительная просадочность данного образца (0,093 при 0,3 МПа) является, очевидно, следствием интенсивного воздействия гипергенных процессов. Микроструктура данного образца, классифицирующаяся как скелетно-ячеистая или матрично-ячеистая, образована глинистыми частицами и микроагрегатами, наряду с первичными пылеватыми частицами в равном количестве встречаются шаровидные микроагрегаты глинистых частиц. Упаковка структурных элементов рыхлая, ажурная (рис. 48), на контактах глинистых частиц наблюдаются соли и новообразования. Глинистые и пылеватые агрегаты контактируют друг с другом через глинистые мостики (рис. 49).

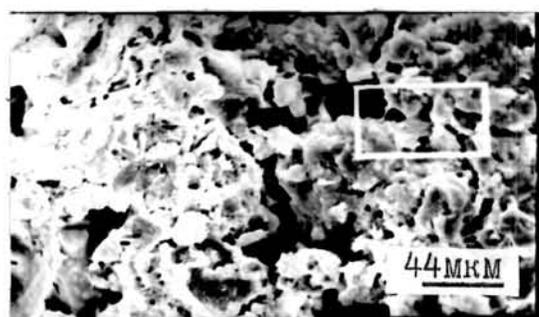
Изучение микроструктур ательских лессовидных суглинков показало, что они характеризуются рядом общих признаков: структурные элементы представляют собой сложные глобулярные микроагрегаты, состоящие, по данным Н.Н.Комиссаровой и А.В.Минервина /100, 101/, из первичных пылеватых частиц, покрытых сложной полиминеральной "рубашкой"; наряду с такими микроагрегатами встречаются микроагрегаты глинистых частиц шаровидной формы и пылеватого размера. Глинистый материал распределен в породе неравномерно, помимо "рубашек" он формирует на контактах пылеватых частиц глинистые мостики, в сильнозасоленных разностях на



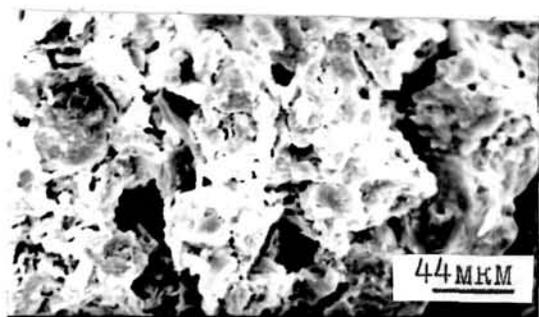
1



2



3



4

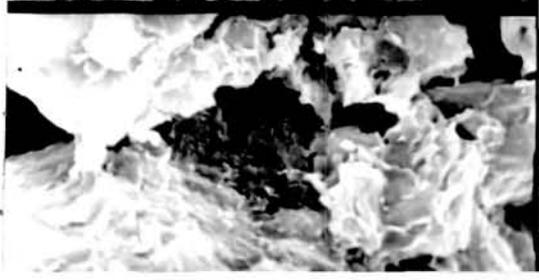
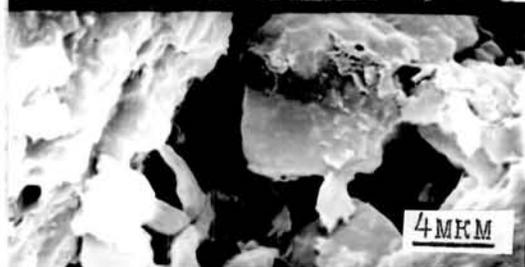
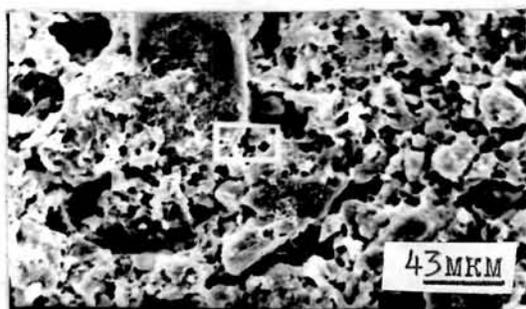


Рис. 47. Скелетно-ячеистая микроструктура (1), строение вторичного микроагрегата (2), характер контактов структурных элементов друг с другом (3,4) (тяжелый лессовидный суглинок, образец №4С, гл.3,3 - 3,5 м).

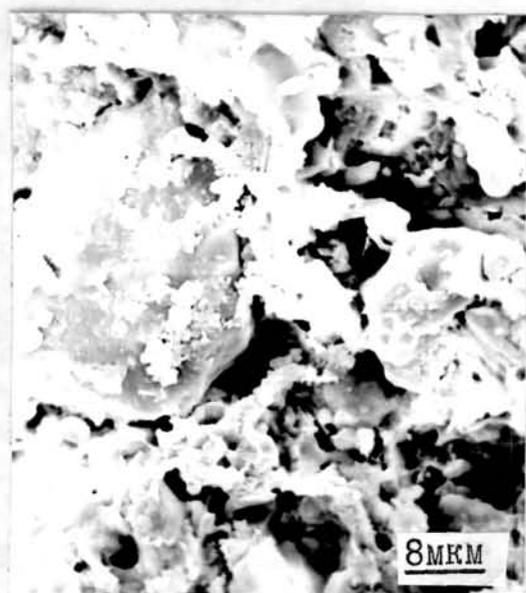


1

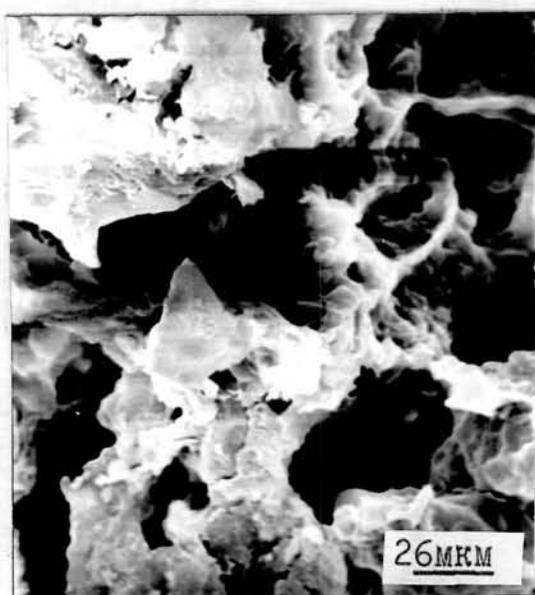


2

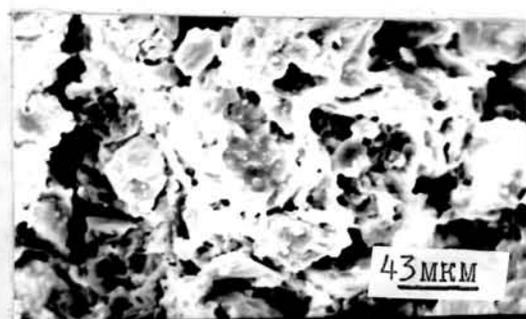
Рис. 48 . Скелетно-ячеистая микроструктура (2), характер контактов структурных элементов друг с другом (1,2) (средний лессовидный суглинок, образец №12С, гл. 4,0 - 4,2 м).



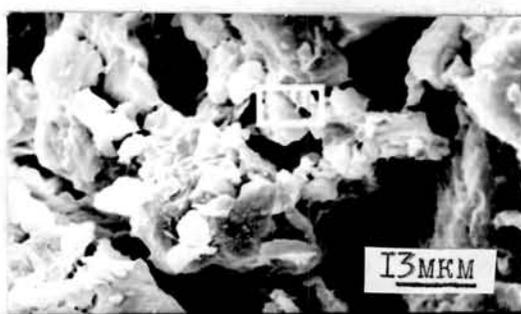
1



2



3



4



Рис. 49. Скелетно-ячеистая микроструктура (1,2) и характер связи между структурными элементами (3,4) (средний лессовидный суглинок, образец №11С, гл. 2,0 - 2,2м).

контактах наблюдаются солевые мостики. Средние лессовидные суглинки обладают скелетной микроструктурой, тяжелые - скелетно-ячеистой, или скелетной, где участками встречается скелетно-ячеистая. В зоне интенсивного протекания процессов увлажнения-высушивания, периодической вертикальной миграции влаги у лессовидных пород происходит формирование весьма рыхлой, ажурной, высокопористой скелетно-ячеистой микроструктуры.

Наличие шаровидных микроагрегатов глинистых частиц пылеватого размера (рис.47/2) может служить косвенным доказательством интенсивного развития в толще ательских пород процессов промерзания-оттаивания, которые приводят, как известно, к агрегированию глинистых частиц до агрегатов размера крупной пыли /97, 99, 57/. Формирование таких микроагрегатов началось, вероятно, еще в ательское время, когда на территории Северного Прикаспия существовали суровые перигляциальные условия, а завершились в позднехвалынское время, когда произошло возобновление перигляциальной обстановки (см. раздел 2.2.2.).

3.6. Просадочность

Наиболее интересным и специфичным свойством ательских пород является просадочность. Просадочные свойства проявляются не только лессовидными суглинками и супесями, но и песками /13/. Ательские лессовые породы являются единственной разновидностью лессовых пород, которые в своем развитии были затоплены морскими водами, а сейчас, находясь под покровом морских отложений, обладают просадочными свойствами. В связи с этим изучение формирования просадочности лессовых пород, находящихся в таких специфических геологических условиях, имеет и общенаучный интерес для познания формирования просадочности лессовых пород в

целом.

Просадочность лессовых пород определяется целым рядом внешних и внутренних факторов /88, 78, 59/. А.К.Ларионов относит к внешним факторам: напряженное состояние массива, динамические нагрузки, условия увлажнения, химический состав смачивающей воды; к внутренним: минералогический и химический состав породы, их структура, высокая пористость, водостойкость агрегатов, первоначальная влажность /85, 88/.

По мнению Н.И.Кригера просадочные свойства лессовых пород согласуются с "принципом" Н.Я.Денисова /78, 59/, "сущность которого заключается в обязательном соответствии пористости породы её напряженному состоянию, влажности, составу и характеру структурных связей. С изменением любого из названных параметров меняются пористость и просадочные свойства породы. По этой причине просадочные свойства породы зависят от географической среды, поскольку последняя определяет влажность пород" /59, стр.73/.

По мнению Е.М.Сергеева и А.В.Минервина /153, 154, 103/ просадочные свойства лессовых пород определяются не только их составом и состоянием, но и характером, направленностью гипергенных процессов, протекавших в толще. Примером этому служит формирование ниже погребенных почв горизонтов лессовых пород, характеризующихся повышенной относительной просадочностью.

Просадочные свойства ательских пород изучались на примере разрезов Нижнего Поволжья, где ательская толща повсеместно слагает зону аэрации (за исключением участков с нарушенным режимом грунтовых вод). В Волгоградском Заволжье и в большинстве районов Волго-Уральского междуречья ательские отложения обводнены и просадочностью не обладают.

Изучение относительной просадочности грунтов проводились

при серии нагрузок (0,05; 0,10; 0,20; 0,30; 0,50 МПа) по методу одной и двух кривых /69, 89, 179/. На ряде образцов среднего и легкого лессовидного суглинка для получения зависимости относительной просадочности от действующей нагрузки просадочность определялась вплоть до нагрузки 1,60 МПа. Проведенные исследования показали, что:

1) ательские лессовые отложения обладают просадочными свойствами при дополнительных нагрузках;

2) в ряде случаев просадочные свойства характерны и для мелко-тонкозернистых, тонко-мелкозернистых пылеватых песков, чистые пески просадочными свойствами не обладают;

3) изменение относительной просадочности с глубиной в основном определяется литологическим строением ательской толщи;

4) к горизонтам сильного и среднего засоления с большим количеством гипсовых конкреций приурочены повышенные просадочные свойства, причем относительная просадочность супесей может быть выше чем у суглинков;

5) наиболее просадочные разности характеризуются скелетно-ячеистым типом микростроения и относительной просадочностью 0,060 - 0,093 при нагрузке 0,3 МПа.

В процессе исследований установлено, что ательские лессовые грунты при бытовой нагрузке являются непросадочными, исключение составляют единичные образцы. Это в свою очередь объясняется малыми природными нагрузками (до 0,10 МПа) в верхних горизонтах толщи.

В дальнейшем мы будем рассматривать просадочность только при нагрузке 0,30 МПа, относительная просадочность при других нагрузках будет специально оговариваться.

Изучение относительной просадочности при различных величинах

нах действующей нагрузки показывает, что с возрастанием нагрузки в интервале от 0,05 до 0,7-1,0 МПа происходит увеличение относительной просадочности (рис.50). Начало разрушения естественных структурных связей лессовидных грунтов приходится на нагрузки 0,3-1,0 МПа и зависит от влажности исследуемого грунта. Максимальные значения относительной просадочности (0,060-0,093) характерны для суглинков и супесей верхних частей разрезов, характеризующихся наиболее рыхлым сложением. Наименьшей относительной просадочностью (0,004-0,009) обладают более плотные и более влажные разности, а также тяжелые лессовидные суглинки с содержанием глинистых частиц 20% и более.

Относительная просадочность, полученная по методу одной кривой, составляет от 30 до 80%, в среднем 55-70%, 100%-ная сходимость результатов является редким исключением (табл.18).

Просадочность, как было показано выше, определяется комплексом факторов. Для ательских пород зоны аэрации просадочность, в основном, определяется влажностью, пористостью, составом и величиной нагрузки. Характер изменения относительной просадочности по разрезу определяется в большей степени изменением литологии ательских отложений (рис.51). Для верхних ритмов разрезов наиболее влажными и пористыми являются суглинки, наименее влажными - пески. Тем не менее, наибольшей просадочностью обладают суглинки, характеризующиеся рыхлой скелетно-ячеистой микроструктурой. Нижние ритмы ательской толщи находятся в тесной связи с грунтовыми водами; здесь наибольшей просадочностью могут характеризоваться лессовидные супеси, при одинаковой пористости имеющие более низкую влажность, чем суглинки (рис.51). Разница в условиях нахождения верхних и нижних частей ательской толщи требует рассмотрения просадочных свойств для

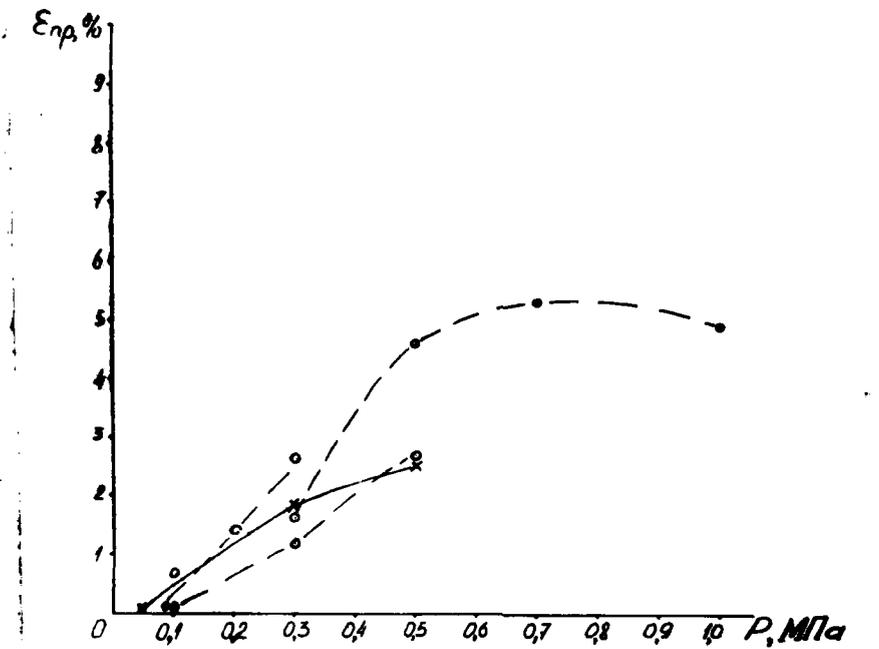


Рис. 50. Зависимость относительной просадочности
ательских лессовидных суглинков от величины
нагрузки: $\circ-\circ$ - средние лессовидные суглинки,
 $\times-\times$ - тяжелые лессовидные суглинки.

Таблица 18

Физические свойства и относительная просадочность агельских лесовидных сульфидов некоторых районов Нижнего Поволжья

Опорный разрез	Глубина отбора, м	Естественная влажность, %	Плотность скелета, г/см ³	Пористость, %	Число пластичности	Содержание карбонатов, %	Относительная просадочность при Р = 0,3 МПа			
							Методика		Влажность, %	
							одна кривая	две кривые		
						при естественной влажности	7 - 8	2 - 3		
Волжский	1,0	8	1,55	43	8	1,90	0,078	0,093	-	-
	3,0	12	1,49	45	10	-	0,056	0,086	-	0,095
	4,0	11	1,65	39	10	7,13	0,011	0,016	-	0,080
Заплавное	5,0	12	1,63	40	9	4,7	0,004	-	0,010	0,028
	3,9	14	1,59	41		5,15	0,018	-	0,028	0,049
	3,8	14	1,52	44		6,15	0,043	-	-	-
Черный Яр	5,2	8	1,62	41		3,32	0,026	-	0,015	0,063
	6,0	11	1,51	44		4,97	0,012	-	-	-
Светлый Яр	8,0	14	1,68	40		6,14	0,005	-	-	0,013

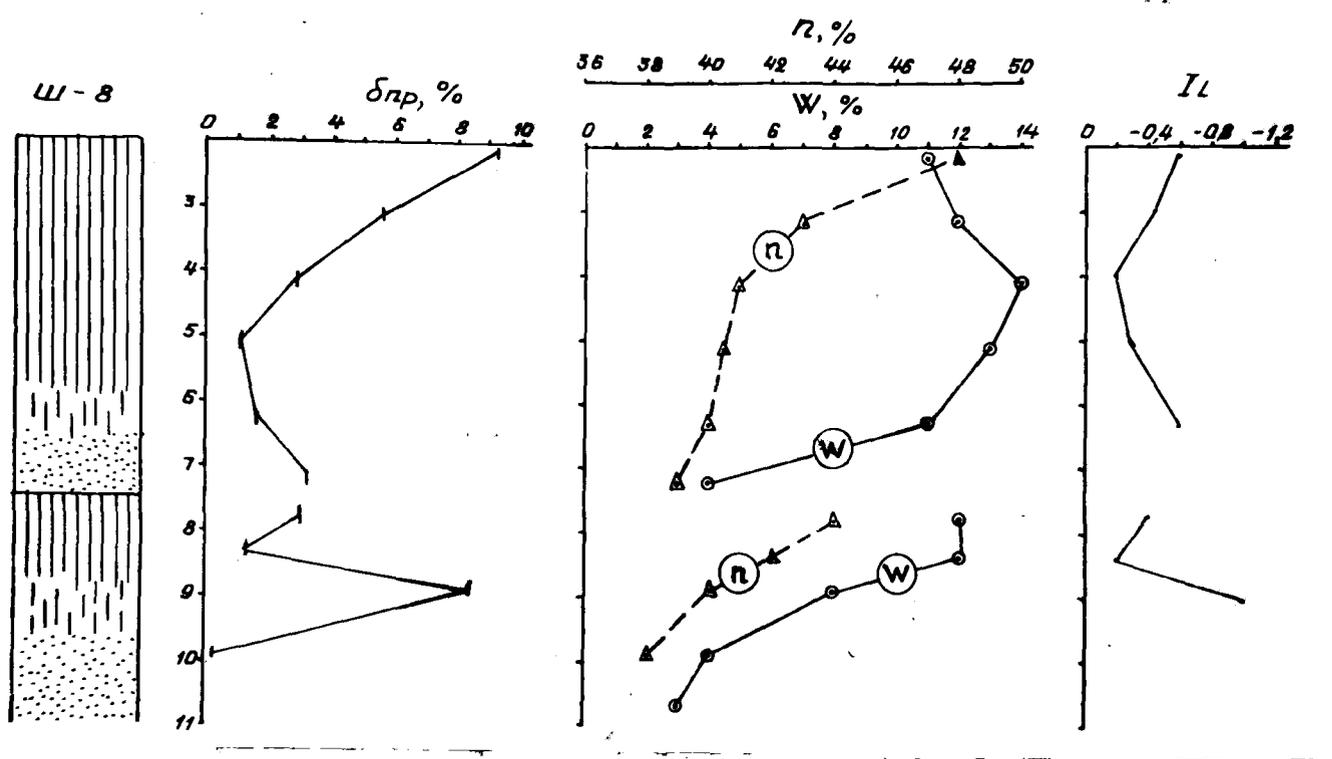
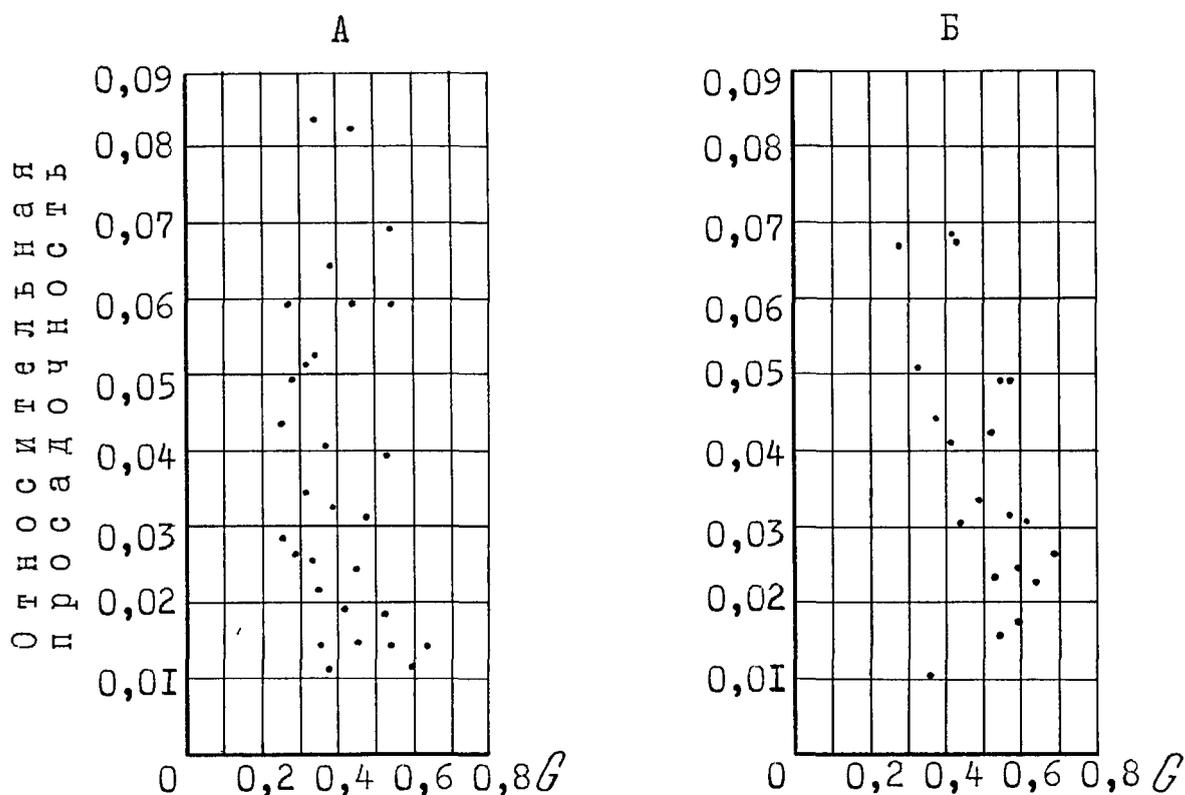


Рис. 5I . Характер изменения относительной просадочности, пористости, влажности и показателя консистенции с глубиной для разреза ательских отложений по шурфу - 8 (I км южнее г.Волжского).

для каждого ритма в отдельности. Некоторое различие имеет место также в разрезах ательских отложений, перекрытых и не перекрытых толщей нижнехвалыньских отложений. На физические свойства последних (в первую очередь естественную влажность) значительное влияние оказывают климатические условия региона.

В верхних частях разрезов ательских отложений для лессовидных суглинков наблюдается отчетливая зависимость относительной просадочности от коэффициента водонасыщения. С увеличением коэффициента водонасыщения просадочные свойства суглинков резко уменьшаются (рис.52). Наиболее просадочные разности характеризуются относительной просадочностью 0,060-0,093. Большая просадочность суглинков при большей их влажности, чем супесей обуславливается их более близким залеганием к дневной поверхности, а, следовательно, и более интенсивным протеканием процессов гипергенного разуплотнения. Территория раннехвалыньской равнины левобережья Ахтубы характеризуется широким развитием микротападинного рельефа (рис.24), западины являются местом сбора талых и дождевых вод. Под крупными западинами промачивание грунтов может достигать 5-6 м. Для выяснения степени и характера влияния микрорельефа на состояние и свойства ательских лессовидных суглинков были изучены разрезы ательской толщи, не перекрытой морскими отложениями, где влияние микрорельефа проявляется в наибольшей степени. Это влияние анализировалось через зависимость относительной просадочности от коэффициента водонасыщения отдельно для грунтов из шурфов, расположенных на положительных (рис.52,А) и отрицательных (рис.52,Б) элементах микрорельефа. Исследование этой зависимости проводилось путем аппроксимации экспериментальных результатов полиномами различной степени по методу наименьших квадратов на ЭВМ БЭСМ-6



Полином первой степени

а) $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,077 - 0,103 G$

б) $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,110 - 0,140 G$

Полином третьей степени

а) $\varepsilon_{\text{пр}} = -0,321 + 2,706 G - 6,293 G^2 + 4,506 G^3$

б) $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,07 + 0,709 G - 2,147 G^2 + 1,693 G^3$.

Рис. 52. Зависимость относительной просадочности ательских лесовидных суглинков от коэффициента водонасыщения. Лесовидные суглинки из шурфов, расположенных на:
а) положительных; б) отрицательных формах рельефа.

по стандартной программе. Вычисления показали, что при увеличении коэффициента водонасыщения относительная просадочность резко снижается. Наилучшее приближение экспериментальных данных к теоретической кривой получено при аппроксимации полиномом третьей степени при $G > 0,2$. Причем лессовидные суглинки, залегающие под отрицательными элементами микрорельефа, характеризуются более высокими значениями относительной просадочности и коэффициентами водонасыщения. Этот, на первый взгляд, парадоксальный факт находит свое объяснение в том, что под отрицательными элементами микрорельефа толща чаще и на большую глубину подвержена периодическому увлажнению-высушиванию, то есть в ней более интенсивно протекают процессы современного гипергенеза. Лессовидные суглинки этой зоны являются более рыхлыми (рис.47).

Определенный интерес представляет просадочность песков (рис.51), отмечаемая во многих разрезах. Пески зоны аэрации имеют влажность 2-6% (среднее значение 3-4%), содержат до 3% глинистых частиц и более 20% фракции тонкого песка и крупной пыли. По составу они являются тонко-мелкозернистыми пылеватыми, либо мелко-тонкозернистыми пылеватыми, чистые пески просадочными свойствами в изученных разрезах не обладают.

Ательские отложения являются средне-слабозасоленными грунтами, иногда содержат прослой сильнозасоленных разностей. К горизонтам сильного и слабого засоления часто приурочены скопления гипсовых конкреций. Грунты этих горизонтов обладают повышенными просадочными свойствами (рис.53), что обусловлено, очевидно, наличием на контактах основных структурных элементов легкорастворимых солей (рис.47/3,4). Исключения могут составлять верхние более глинистые разности, когда для достижения

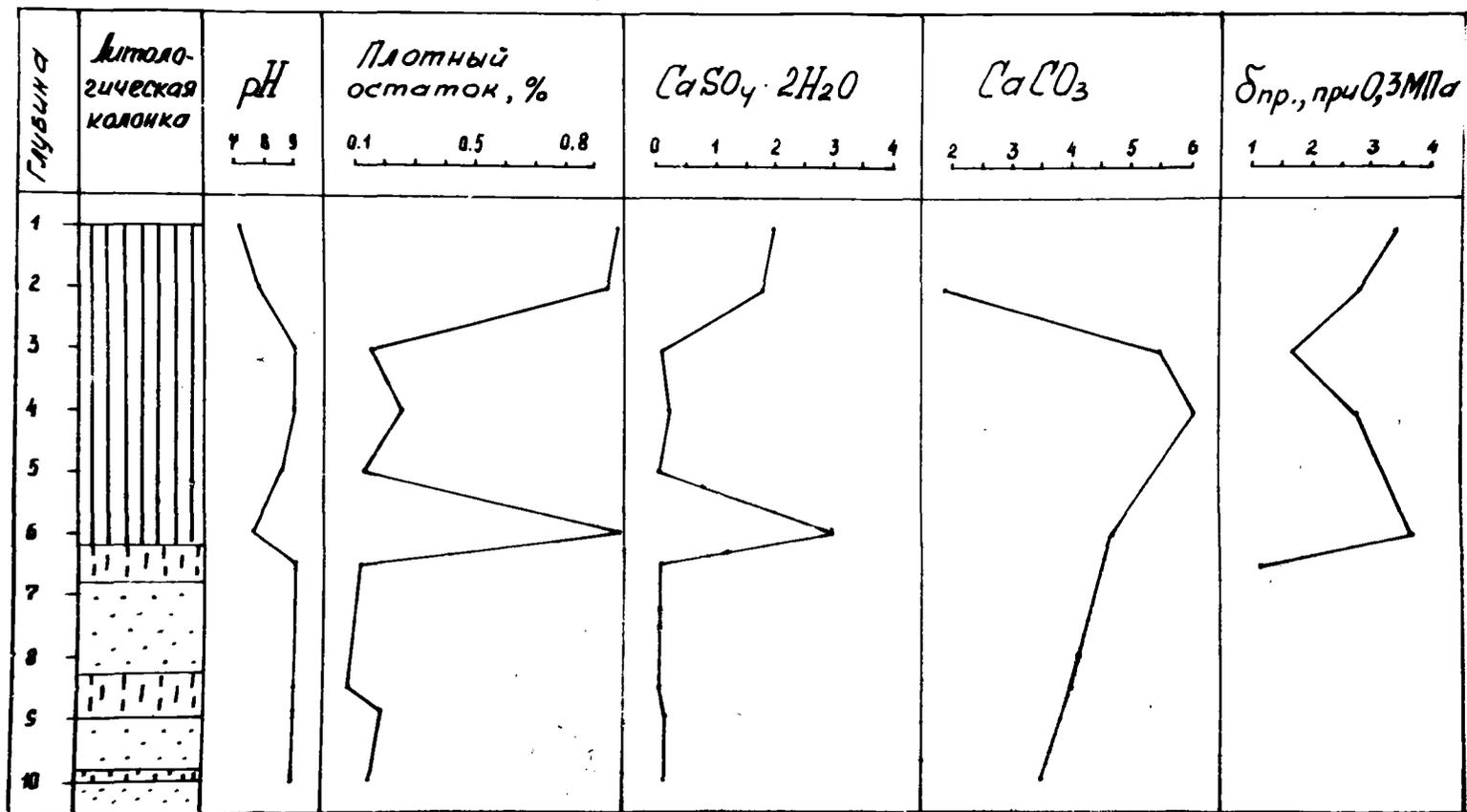


Рис. 53. Изменение относительной просадочности, засоленности, загипсованности и карбонатности ательских пород с глубиной (Волжский опорный разрез).

высокой проработочности не обязательно присутствие значительного количества легкорастворимых солей. Здесь высокая пористость и проработочность определяются скелетно-ячеистым типом микростроения (рис. 47-49), сформировавшегося под действием гипергенного преобразования толщи при достаточной глинистости отложений.

ГЛАВА 4. РОЛЬ ПРОЦЕССОВ УВЛАЖНЕНИЯ - ВЫСУШИВАНИЯ (НАБУХАНИЯ - УСАДКИ) И ПРОМЕРЗАНИЯ - ОТТАИВАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОСАДОЧНОСТИ АТЕЛЬСКИХ ЛЕССОВЫХ ПОРОД

Одним из важнейших этапов формирования инженерно-геологического облика ательских пород явилось затопление их водами трансгрессирующего раннехвалынского бассейна, когда ательские породы находились на протяжении тысячелетий под водой. Как уже было показано, лессовые породы ательского горизонта были промочены водами раннехвалынского бассейна. Ательские лессовые породы под водами раннехвалынского бассейна должны были иметь плотность скелета, соответствующую давлению от собственного веса и веса морских осадков. Давление столба воды на толщу воспринимается полностью или в значительной степени поровой водой (48, стр.59; 37, 178). В настоящее время ательские лессовые породы Нижнего Поволжья и некоторых районов Волгоградского Заволжья имеют плотность скелета несколько меньше, а иногда значительно меньше, чем это следует из вышесказанного.

Чтобы ответить на вопрос о том, как сформировались инженерно-геологические особенности ательских лессовых пород, и в первую очередь их просадочность и высокая пористость, необходимо детально выяснить условия формирования отложений, характер и направленность гипергенных процессов. Предположения в этом отношении следует, как указывает Е.М.Сергеев, подтвердить путем моделирования в природных и лабораторных условиях /148/.

Основными гипергенными процессами, действовавшими на толщу нижнехвалынских и ательских отложений в позднехвалынское-современное время, были: глубокое сезонное промерзание; развитие многолетнемерзлых пород во время последнего ошашковского

оледенения; периодическое (циклическое) увлажнение-высушивание толщи на фоне общего снижения уровня грунтовых вод, как вследствие вреза Волги, так и вследствие быстрой аридизации климата в современный век.

Поэтому задачей лабораторного моделирования было выяснение роли гипергенных процессов в формировании просадочности ательских лессовых пород. При этом изучались два ведущих процесса увлажнение-высушивание (набухание-усадка) и промерзание-оттаивание.

Лабораторные исследования проводились на искусственно приготовленных образцах и образцах естественной структуры.

Искусственным путем моделировались эоловый и водный генезис ательских отложений. Несмотря на значительное количество аргументов в пользу водного генезиса ательской толщи в целом (см. 2.2.1.), большинство исследователей Северного Прикаспия, признавая за песчаными отложениями аллювиальный генезис, считают верхние горизонты ательских отложений, представленные лессовидными суглинками, субаэральными-эоловыми образованиями /20, 22, 25, 58, 110, 112, 128/. Поэтому полностью исключить и не исследовать формирование просадочности ательских отложений эолового генезиса было бы в значительной мере субъективным. Сравнение формирования просадочности у образцов разного генезиса, но сходного состава, представляет несомненный научный интерес.

Для моделирования были выбраны средний и тяжелый лессовидные суглинки (по классификации С.С.Морозова), у которых глинистая фракция и фракция тонкой пыли агрегированы до размеров крупной пыли и тонкого песка, по данным микроагрегатного анализа суммарное содержание этих фракций составляет 70-80%.

В естественном состоянии грунты характеризуются влажностью II-IV%, пористостью 40-42% и относительной просадочностью при нагрузке 0,3 МПа - 0,004-0,005 и 0,011. Изучение микростроения образцов, взятых для моделирования показало, что все они характеризуются скелетной (зернистой по А.К.Ларионову) микроструктурой, с редко встречающимися участками со скелетно-матричной (зернисто-агрегативной по А.К.Ларионову) /84, 86/ микроструктурой (рис.42, 44). Структурные элементы ательских лессовых пород представляют собой сложные глобулярные микроагрегаты, покрытые полиминеральной рубашкой /102, 103, 104, 154/. Среди минералов глинистой фракции преобладают гидрослюда и смешанно-слоистые минералы (табл.19). Грунты являются карбонатными и засоленными. Содержание карбонатов в тяжелом лессовидном суглинке составляет 7,50%, а в средних 4,0-6,10%; сухой остаток 0,87% и 0,80% соответственно. Среди легко растворимых соединений преобладают натриевые соли, реакция водной вытяжки слабощелочная (рН = 7,9 - 8,0).

Методика исследований заключалась в оценке изменения свойств модельных и естественных грунтов в результате увлажнения-высушивания, а также при увлажнении с последующим воздействием на систему отрицательной температурой. Образцы водонасыщались при отсутствии внешнего давления. После прекращения деформаций фильтровальной бумагой снимался избыток воды из поддона. Деформации при увлажнении и промерзании фиксировались с помощью индикатора часового типа.

После увлажнения и промерзания образцы высушивались в лабораторных условиях до гигроскопической влажности. Сушка проводилась только через верх образцов (сушка полупространства по А.В. Лыкову, 91). Параметры сушки всех образцов были одинаковыми.

Таблица 19

Характеристика состава ательских лессовидных суглинков, выбранных для лабораторного моделирования.

№ образца	Глубина отбора,	Естественная влажность, %	Пористость, %	% Содержание фракции:			Примерный состав глинистой фракции, %						Карбонатность, %	Результаты анализа водных вытяжек (1:10)				
				Тонкого песка	Крупной пыли	Глинистая (< 0,001мм)	Гидрослюда	Наолит ⁺	Таллуазит	Хлорит	Монтмориллонит	Смешанно-слоистые		Состав смешанно-слоистых	Na ⁺ :Ca ⁺⁺	Cl ⁻ :HCO ₃ ⁻	Cl ⁻ :SO ₄ ⁻	Плотный остаток, %	Реакция рН
0A-8	2,5	12	41	15	46	15	~40	8-10	~5	≤10	~35	0,4:0,6	4,0	0,40	3,47	2,28	0,80	7,9
10с	3,5	14	43	9	49	23	~60	5-7	8-10	-	25-28	0,25:0,75	7,5	1,04	4,00	3,00	0,87	8,0
0A-5	8,0	9	37	4	49	14	~40	5-10	5-10	~10	~35	-	6,1	3,14	0,89	2,59	0,80	7,9

Количество циклов увлажнения-высушивания составляло от I до 5, при этом использовалась методика Л.В.Передельского и П.В.Ананьева /117/. В полученных образцах проводилось определение просадочных свойств по методу одной кривой при давлении 0,2-0,3 МПа, параллельно определялась плотность скелета и пористость полученных образцов.

Эоловый генезис. При моделировании образования эоловых осадков нами допускалось, что формирование структурных элементов - глобулярных микроагрегатов - в основном завершилось в областях питания. Поэтому приготовление рыхлого модельного образца велось с учетом сохранения этих микроагрегатов. Образцы естественной структуры растирались пестиком с резиновым наконечником. Затем воздушно-сухой растертый грунт помещался в пластмассовые кольца, объемом около 280 см³.

Приготовленные образцы замачивались при отсутствии внешнего давления: снизу (капиллярное водонасыщение) и сверху (капельное моделирование инфильтрации атмосферных осадков).

Для всех образцов, как средних так и тяжелых лессовидных суглинков, при увлажнении наблюдается некоторое уменьшение первоначального объема. Деформации глинистых грунтов при увлажнении, по данным В.И.Дивисиловой, обусловлены соотношением объема "осмотической" влаги и объема пор в образце /52/. В том случае, когда минералы группы монтмориллонита не являются преобладающими и поры занимают больший объем, чем осмотическая влага, в образце может присутствовать капиллярная вода, а под действием капиллярных сил возможно уменьшение объема образца - усадка. Более глинистые образцы, приготовленные из тяжелого лессовидного суглинка, после такой усадки давали незначительное набухание (до 2,3%). В процессе сушки, в большинстве случаев, наиболее гли-

нистые образцы давали сильную усадку, сопровождавшуюся трещинообразованием, что связано с развитием значительных напряжений усадки в системе /98, II7/.

Результаты испытания образцов, полученных после увлажнения-высушивания, показывают, что замачивание рыхлого эолового осадка при отсутствии внешнего давления не приводит к превращению его в непросадочную породу. Так при нагрузке 0,3 МПа средний лессовидный суглинок характеризуется относительной просадочностью 0,096-0,111, а тяжелый лессовидный суглинок - 0,101 - 0,116.

Для изучения роли промерзания в формировании структуры и свойств лессовых грунтов серия образцов после увлажнения помещалась в морозильную камеру на одни сутки, где происходило их постепенное промораживание при понижении температуры от $+18^{\circ}+20^{\circ}\text{C}$ до -6°C . Замораживание образцов до температуры -6°C выбрано, исходя из возможных палеотемператур (см.2.3.1.) многолетнемерзлых пород в позднехвалынское время. По данным А.М.Воронина /34/ максимальное увеличение объема водонасыщенных пылеватых осадков происходит при температуре -5°C . Содержание незамерзшей воды в мерзлых лессовых грунтах при такой температуре является минимальным и практически не меняется с дальнейшим понижением температуры /198/. Опыты проводились в морозильной камере на кафедре мерзлотоведения Геологического факультета МГУ. После извлечения из морозильной камеры образцы оттаивали и высушивались в лабораторных условиях при температуре $+18^{\circ}+20^{\circ}\text{C}$ (моделирование быстрой деградации мерзлоты). Разуплотнение в процессе промерзания составило 4-7%, усадка образцов после оттаивания и сушки составила 26-28% (рис.54). Высушенные до воздушно-сухого состояния образцы испытывались на просадочность при нагрузке 0,3 МПа. Результаты испытания на просадочность показывают, что полученные

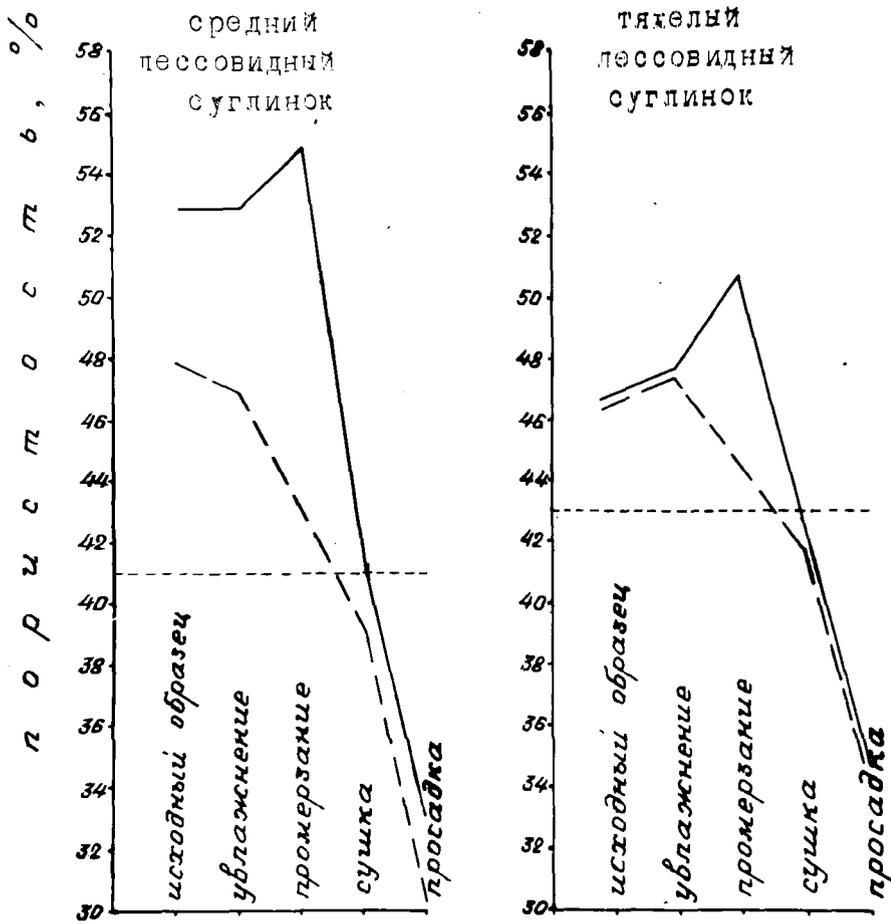


Рис. 54. Изменение пористости искусственных "эловых" осадков в процессе увлажнения-высушивания и промерзания-оттаивания.

образцы характеризуются относительной просадочностью 0,103 - 0,107 (средний лессовидный суглинок) и 0,108 - 0,110 (тяжелый лессовидный суглинок).

Изучение закономерностей изменения микростроения лессовых пород под действием процессов увлажнения-высушивания и промерзания-оттаивания дает ключ к пониманию формирования просадочных свойств.

В лаборатории электронно-микроскопических исследований грунтов кафедры грунтоведения и инженерной геологии были получены снимки, дающие качественную характеристику структурных особенностей исследуемых образцов. С целью получения дополнительной информации о формировании структуры лессовых пород в процессе увлажнения-высушивания и промерзания-оттаивания была выполнена количественная обработка фотоснимков (негативов).

Обсчет электронных фотоснимков с увеличением 110 раз проводился совместно с Е.Н. Коломенским на анализаторе структур "Leitz" методом математической морфологии /75, 76/. Напомним, что сущность метода математической морфологии состоит в сравнении структуры образца с серией эталонов (точка, две точки, отрезок прямой, круг и т.д.). Изображение фотоснимка вводится в анализатор структур с помощью телекамеры и трансформируется в виде совокупности пор и твердой фазы. Дискретизированный сигнал в двоичной форме пропускается через группу логических модулей, в которых по схеме совпадения производится операция сравнения порового пространства (или твердой фазы) с серией эталонов. Число совпадений выводится на ЭВМ общего назначения, где производится по специальным программам расчет серии структурных показателей: распределение пор и агрегатов частиц по размерам, их средних характеристик (линейного размера, площади и объема), характеристик анизотропии,

числа связности и некоторых других.

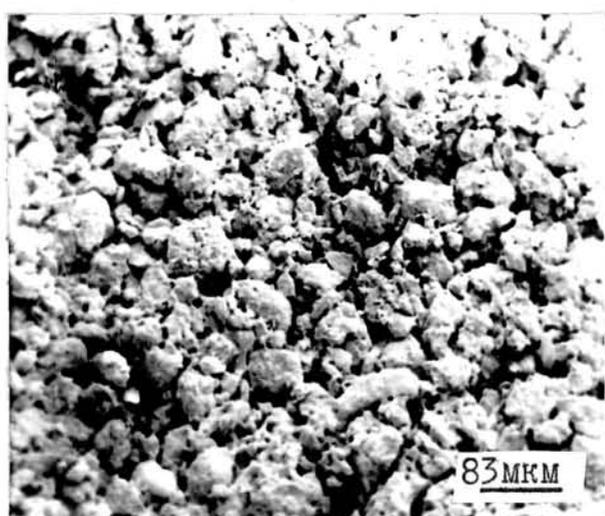
Результаты количественного анализа фотоснимков образцов тяжелого лессовидного суглинка естественной структуры, после одно-

Таблица 20

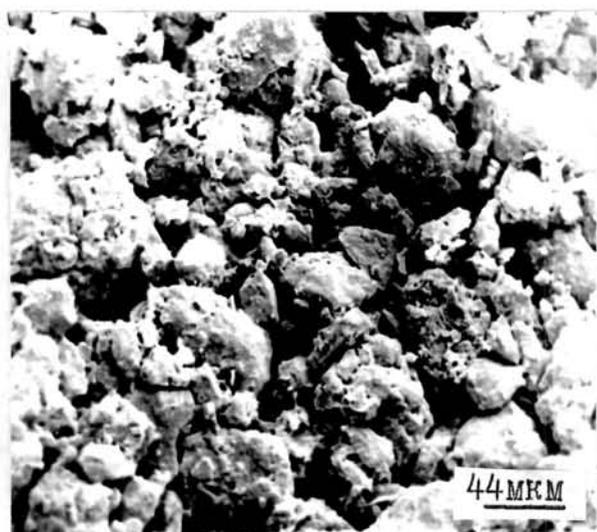
Относительное изменение размеров средней поры
в процессе увлажнения - высушивания и промерзания -
оттаивания.

Искусственный образец "эолового генезиса" тяжелый лессовидный суглинок	Диаметр	Площадь	Объем
после увлажнения - высушивания	+1,41	+54,71	+1555,28
после промерзания - оттаивания	-0,11	-0,39	-33,14
образец естественной структуры	0	0	0

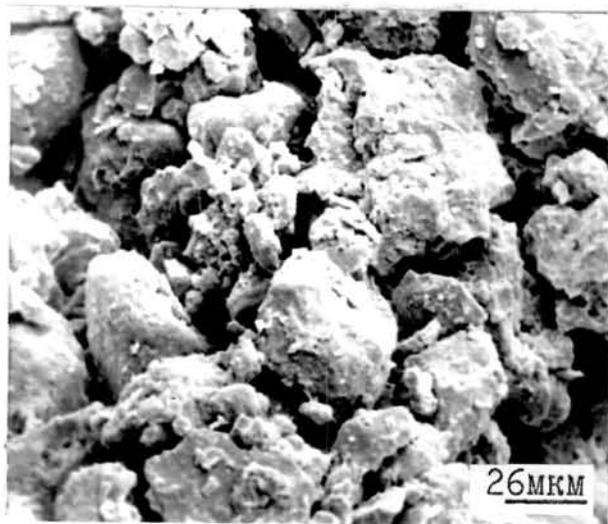
го цикла увлажнения-высушивания и промерзания-оттаивания показывают, что в процессе увлажнения - промерзания-оттаивания рыхлый эоловый осадок приобретает структуру близкую к структуре исходной породы (рис.55-58). Структура лессовой породы, сформированной из эолового пылеватого осадка только в результате увлажнения-высушивания, имеет существенные отличия от исходной породы (рис. 59). Это отличие наглядно иллюстрируется при сравнении диаметра, площади и объема средней поры (табл.20). Анализ изменения числа связности пор и агрегатов частиц (чем более отрицательное число связности, тем выше связность, положительное число связности



1

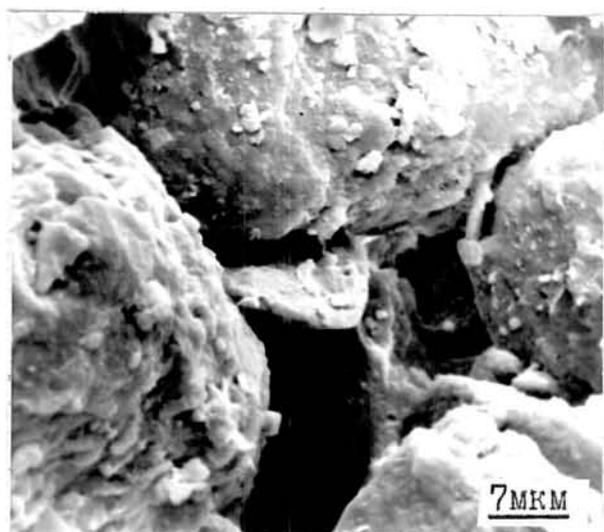


2

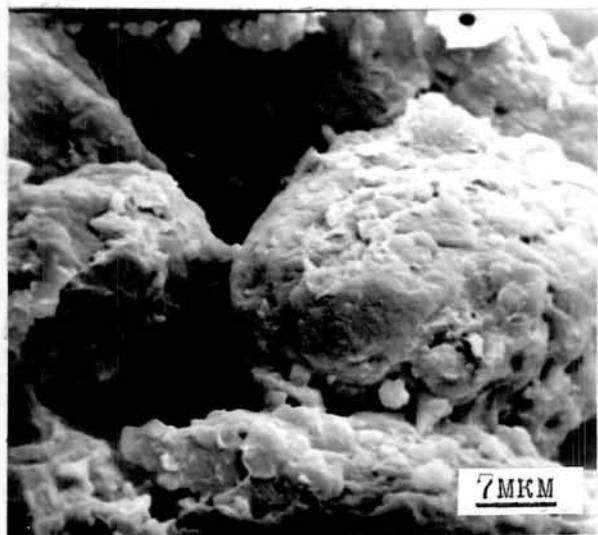


3

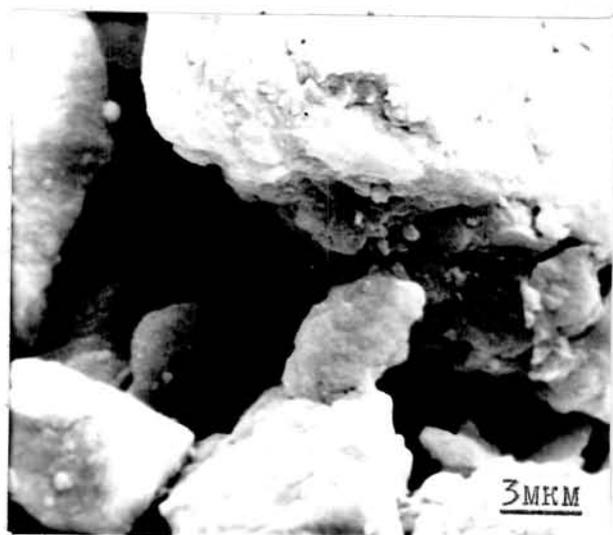
Рис. 55 . Скелетная микроструктура искусственного образца ("эоловый генезис") тяжелого лессовидного суглинка после увлажнения-высушивания (образец №10С, гл. 3,3 - 3,5 м).



1

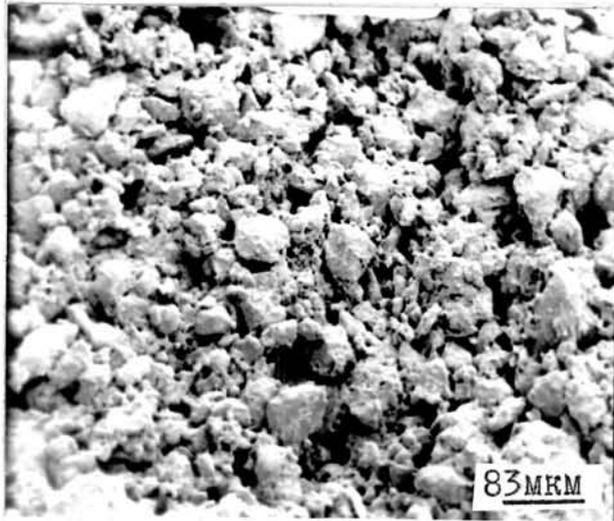


2



3

Рис. 56. Характер контактов между глобулярными микроагрегатами искусственного образца ("эоловый генезис") тяжелого лессовидного суглинка после увлажнения-высушивания (образец №10С, гл. 3,3 - 3,5 м).



1

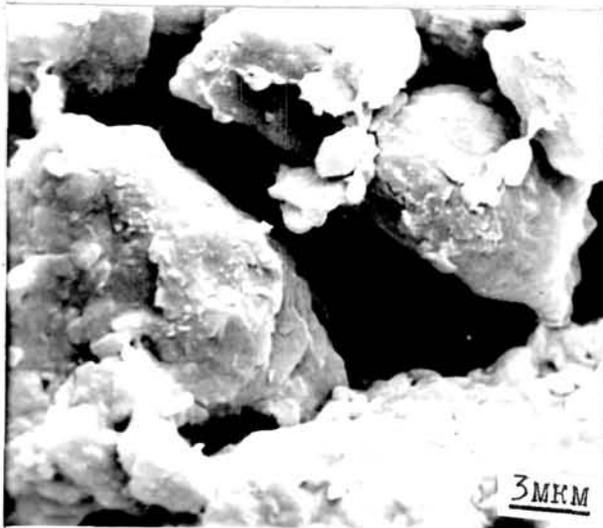


2

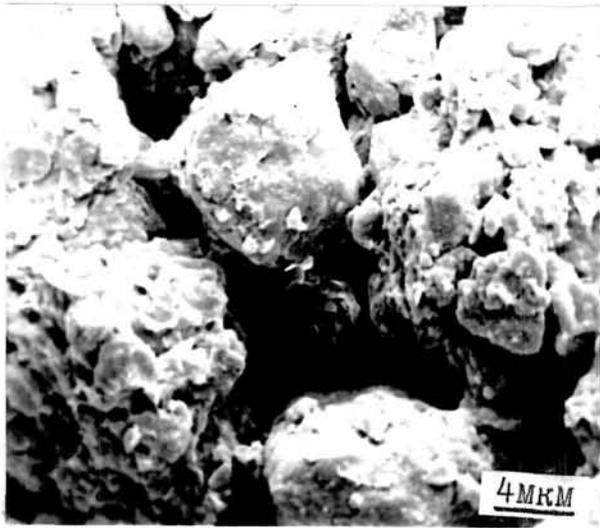


3

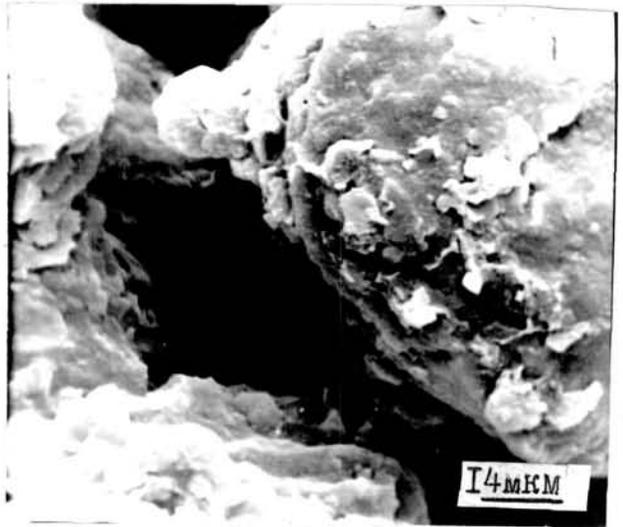
Рис. 57. Скелетная микроструктура искусственного образца ("эоловый генезис") тяжелого лессовидного суглинка после промерзания-оттаивания (образец №10С, гл. 3,3 - 3,5 м).



1



2



3

Рис. 58. Характер контактов между глобулярными микроагрегатами искусственного образца ("эоловый генезис") тяжелого лессовидного суглинка после промерзания-оттаивания (образец №10С, гл. 3,3 - 3,5 м).

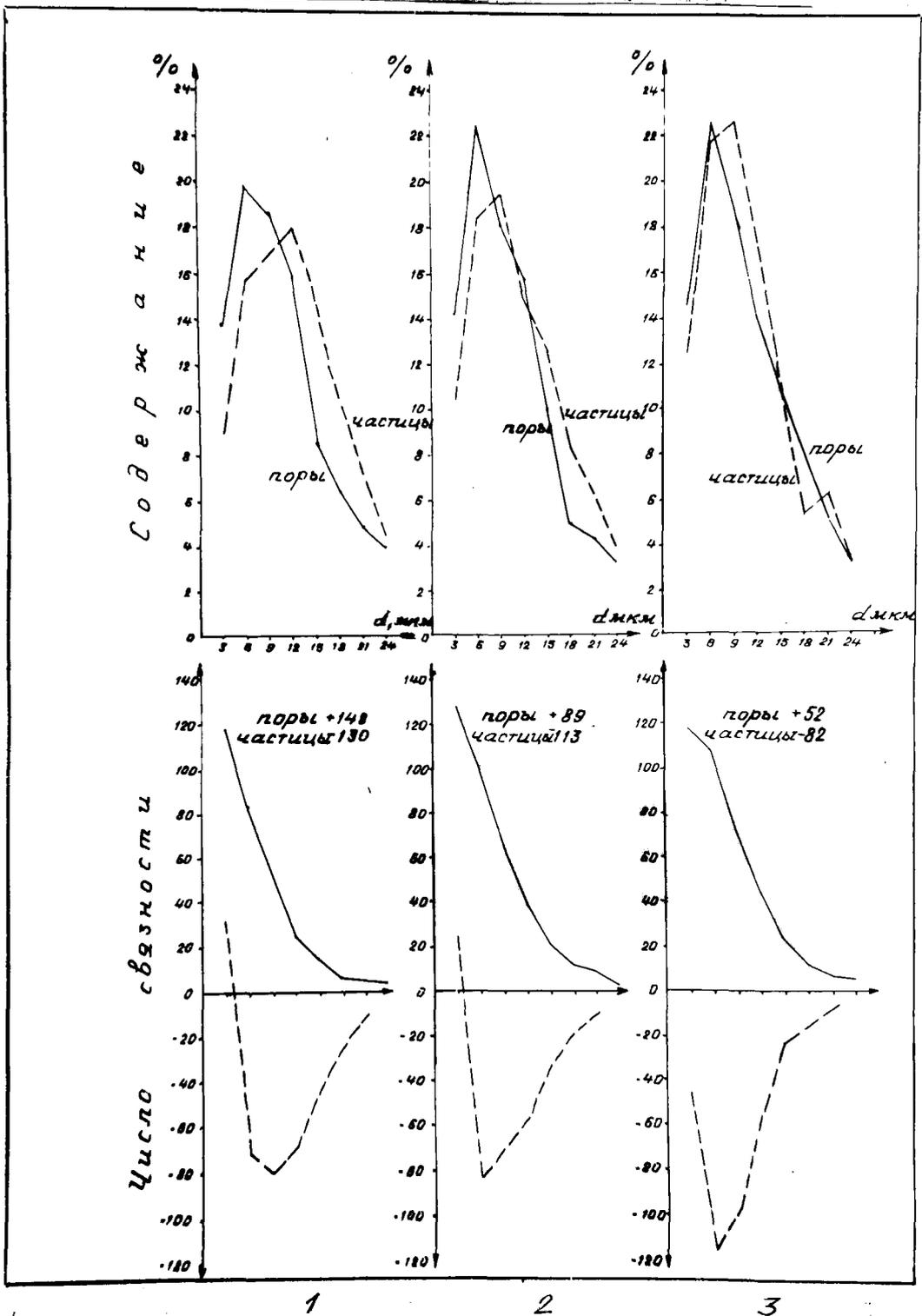


Рис. 59. Анализ микростроения лессового грунта естественного сложения (3) и лессовых грунтов, полученных из эолового осадка после увлажнения-высушивания (I) и промерзания-оттаивания (2).

характеризует разобщенность пор или агрегатов частиц изучаемого размера) показывает, что при увлажнении-высушивании в эоловом осадке формируется значительное количество вертикальных изолированных пор, при промерзании увлажненного эолового осадка пористость становится более открытой, а упаковка агрегатов частиц более рыхлой (рис. 59).

Таким образом, даже допуская эоловый генезис ательских лесовидных суглинков, необходимо отметить, что решающая роль в формировании структуры и свойств последних принадлежит процессам криогенного преобразования. Уже при однократном промерзании увлажненного рыхлого эолового осадка формируется лессовая порода со структурой близкой к исходной, а при многократном промерзании-оттаивании мы вправе ожидать и полного их соответствия.

Водный генезис. Эксперимент проводился в два этапа. На первом этапе моделировались условия образования пойменного аллювия в процессе самоуплотнения при свободном осаждении пылеватого осадка из воды. При этом образцы лессового грунта весом около 2 кг замачивались водой до влажности 80-150% с тщательным перемешиванием для равномерного распределения структурных элементов по объему. Полученная суспензия переносилась в стакан объемом 5 л и отстаивалась в течении суток, при этом соблюдались условия свободного осаждения структурных элементов. После полного осаждения осадка удалялся слой воды над ним, и стакан с осадком выдерживался в лабораторных условиях (при температуре $+18^{\circ}+20^{\circ}\text{C}$) до полного высушивания. После сушки во всех случаях образовался плотный осадок, разбитый на всю мощность (до 0,15 м) трещинами усадки. При больших влажностях исходной суспензии (около 150%) в условиях свободного осаждения наблюдается расслоение осадка, в верхней

части образуется плотная глинистая корка, нижняя часть более песчанистая. При влажности около 80% такое расслоение не наблюдается. Испытание на просадочность осадка, полученного из тяжелого лессовидного суглинка, показало, что при нагрузке 0,3 МПа относительная просадочность составляет 0,003.

На втором этапе проводилась оценка изменения свойств полученных грунтов в результате набухания при увлажнении и при последующем воздействии на систему отрицательной температурой.

Из модельных грунтов вырезались кольца объемом около 280 см³. Подготовленные образцы замачивались снизу (капиллярно) при отсутствии внешнего давления. После прекращения деформации образцов, один образец высушивался в лабораторных условиях, а другой помещался в морозильную камеру, где происходило его постепенное замораживание. Условия опыта аналогичные вышеописанным.

В процессе увлажнения образцов произошло их набухание, которое составило 7-8%, После набухания усадка составила 5-5,5%, то есть произошло разуплотнение образцов (таблица 2I). Усадка образцов после промораживания и оттаивания несколько меньше и составляет 4,8%. При визуальном описании образцов после опыта видно, что они стали более рыхлыми и менее прочными. После одного цикла набухания-усадки сформировалась порода с коэффициентом относительной просадочности 0,102 (при нагрузке 0,2 МПа).

Появление просадочных свойств у пылеватого осадка в результате набухания-усадки можно объяснить следующим образом. Оседая в спокойных условиях, глобулярные агрегаты самоуплотняются, образуя плотную упаковку. В процессе уплотнения осадка наблюдается сближение глобулярных агрегатов, что сопровождается перекрытием диффузных слоев ионов глинистых частиц соседних глобул. При высыхании происходит упрочнение образовавшегося коагуляционного

Таблица 21

Изменение плотности сложения модельных лессовых грунтов
в процессе набухания, промерзания и высушивания

	Пористость $n, \%$	Плотность скелета, δ г/см ³	Пористость $n, \%$	Плотность скелета, δ г/см ³
Модельный образец	43,9	1,52	44,3	1,51
После набухания при W_H	48,0	1,41	48,3	1,40
После усадки при W_G	45,0	1,49	-	-
После набухания и промерзания	-	-	48,7	1,39
После набухания, промерзания и высушивания	-	-	46,1	1,46

контакта /100/, трансформация его в точечный контакт переходного типа с ионно-электростатическим типом связи, формирование ориентированной текстуры пылеватого осадка. Такой осадок имеет достаточно высокую пористость, но просадочными свойствами не обладает. В процессе испытания на просадочность таких образцов плотнейшая упаковка структурных элементов достигается уже при компрессии, поэтому последующее замачивание не приводит к проявлению просадочных свойств. При водонасыщении сухого пылеватого осадка в плотную упаковку глобул проникает вода; оболочки связанной воды, формирующиеся вокруг частиц, раздвигают их, происходит увеличение объема грунта с изменением характера контактов между частицами и переориентацией структурных элементов относительно друг друга; ориентированная текстура пылеватого осадка трансформируется в беспорядочную. Как результат общего увеличения пористости уменьшается общее количество индивидуальных контактов. В процессе высыхания системы беспорядочная ориентация структурных элементов, вероятно, сохраняется. Процесс набухания-усадки модельных грунтов приводит к уменьшению числа ионно-электростатических связей на одном контакте, что ведет к уменьшению его прочности.

В результате набухания-усадки происходит изменение структуры порового пространства, подтверждающееся при количественном анализе РЭМ-изображений грунтов, что одновременно с уменьшением прочности индивидуального контакта приводит к появлению в грунте просадочных свойств (табл. 2I).

Промораживание набухших образцов ведет к дальнейшему разуплотнению системы (табл. 2I). По-видимому, при промерзании водонасыщенного осадка в основном идет фиксация разуплотненного состояния лессовой породы после набухания. Этот процесс можно представить следующим образом. Кристаллизация льда в порах раз-

вивает давление, которое, вероятно, обуславливает внутреннюю перекомпановку твердой фазы, фиксацию структурных элементов друг относительно друга, создание плотных микроагрегатов. Последнее, по-видимому, является следствием криогенной усадки системы /186/.

Относительная просадочность образцов после увлажнения-высушивания и промерзания-оттаивания при нагрузке 0,2 МПа одинакова - 0,102 (средний лессовидный суглинок), а при нагрузке 0,3 МПа - 0,080 и 0,092 соответственно (тяжелый лессовидный суглинок). По-видимому, при промерзании водонасыщенного осадка в основном идет фиксация разуплотненного состояния лессовой породы после набухания, формирование открытой структуры порового пространства.

Периодическое выпадение атмосферных осадков способствует процессам увлажнения-высушивания лессовых толщ, которые проявляются повсеместно и круглогодично, видоизменяясь от сезона к сезону. Сезонные колебания уровня грунтовых вод также способствуют периодическому изменению влажностного режима лессовых толщ. Наибольшее значение эти процессы имеют в верхних горизонтах лессовых пород, когда увлажнение толщи может вызывать развитие процессов набухания. При опытном замачивании лессовых пород в Яванской долине после прекращения просадки дальнейшее увлажнение толщи лессов привело к развитию в ней процессов набухания - "поверхностные" марки были подняты местами на 2-3 см /59/. Отмечая возможность набухания лессовых пород, исследователи не анализируют степень влияния процесса набухания на формирование просадочности и изменение их свойств /8, 59, 79, 88/.

Наши исследования (совместно с Н.Н.Комиссаровой) роли циклического увлажнения-высушивания в формировании просадочности лессовых пород проводились на образцах различного гранулометри-

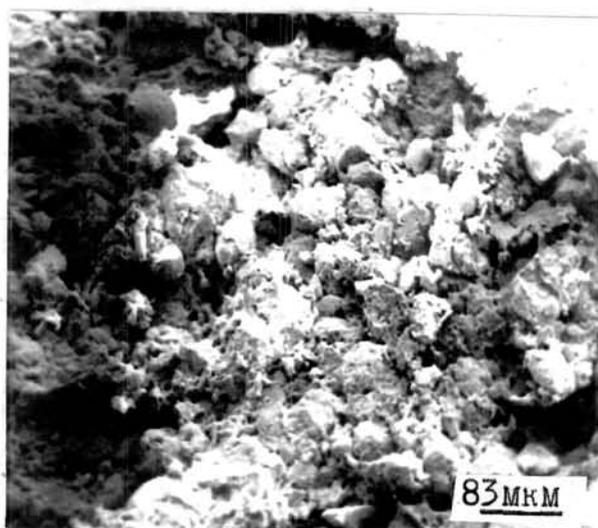
ческого состава из различных регионов СССР. В процессе циклического увлажнения-высушивания наблюдается некоторое увеличение пористости (от 47 до 53% и от 40 до 43%) исследуемых образцов. Относительная просадочность после одного цикла составила - 0,109, а после 5 циклов - 0,147 (лессовые породы ташкентского комплекса, пролювиального генезиса).

Условия залегания ательских лессовых пород, практически лишенных нижнехвалыньских отложений и залегающих непосредственно с поверхности (участки раннехвалыньской аккумулятивной равнины в районе г.Волжского на реке Ахтубе, поселков Светлый Яр и Райгород на реке Волге), а также перекрытые маломощными морскими отложениями (участок раннехвалыньской аккумулятивной равнины в районе поселка Средняя Ахтуба - г.Ленинск на реке Ахтубе и в районе поселка Черный Яр на реке Волге), создают благоприятные условия для широкого развития здесь процесса циклического увлажнения-высушивания лессовых пород. Западинный микрорельеф, повсеместно развитый на поверхности раннехвалыньской аккумулятивной равнины (рис.24) способствует задержке ливневых осадков в весенне-летний период и инфильтрации их в толщу лессовых пород, глубина промачивания под западинами может достигать 5-6 м. Исследование влияния процессов набухания-усадки (увлажнения-высушивания) на строение и свойства ательских лессовых пород проводилось на монолитах, подсушенных до воздушно-сухого состояния. Для исследований были взяты три образца, представленные средним (2) и тяжелым (I) лессовидными суглинками. Характеристика состава и свойств исследуемых грунтов приведена в таблице 19.

Из монолитов вырезались кольца с грунтом, объемом 280 см³, затем грунт капиллярно водонасыщался при отсутствии внешнего

давления. Для того, чтобы избежать трения по стенкам кольца испытания проводились по схеме "линейно-объемное" по методике Л.В. Передельского и В.П. Ананьева /117/. В процессе набухания замечалась линейная деформация, которая составила от 6 до 10% после одного цикла набухания. После прекращения набухания образцы высушивались до воздушно-сухого состояния и испытывались на просадочность при нагрузке 0,3 МПа. Изучение просадочности естественных воздушно-сухих образцов и образцов такой же влажности после одного цикла набухания-усадки показало, что уже после одного цикла происходит увеличение относительной просадочности. Наибольшее разуплотнение и повышение относительной просадочности отмечено для средних лессовидных суглинков с наименьшим содержанием смешанно-слоистых минералов и минералов группы монтмориллонита. Образцы тяжелых и средних лессовидных суглинков с повышенным содержанием в глинистой фракции минералов группы монтмориллонита и смешанно-слоистых в процессе одного цикла набухания практически не разуплотнились, что обусловлено по-видимому, значительной усадкой системы в процессе сушки /91/. Для выяснения формирования повышенной просадочности после набухания-усадки при отсутствии "видимого" разуплотнения было проанализировано изменение структуры среднего лессовидного суглинка (рис. 60-62). Средние лессовидные суглинки характеризуются скелетной (зернистой по А.К. Ларионову) структурой, образованной глобулярными микроагрегатами (рис. 60). "Глобулы" покрыты сложной полиминеральной рубашкой, глинистые частицы образуют связующие мостики между первичными частицами и агрегатами, а также между агрегатами (рис. 61) посредством ионно-электростатической связи /115, 149/.

Количественное описание естественной структуры и сформированной в результате набухания-усадки проводилось по вышеописан-



1



2

Рис. 60 . Структура среднего лессовидного суглинка после одного цикла набухания-усадки (образец №0А-5, гл. 8,0 - 8,2 м).

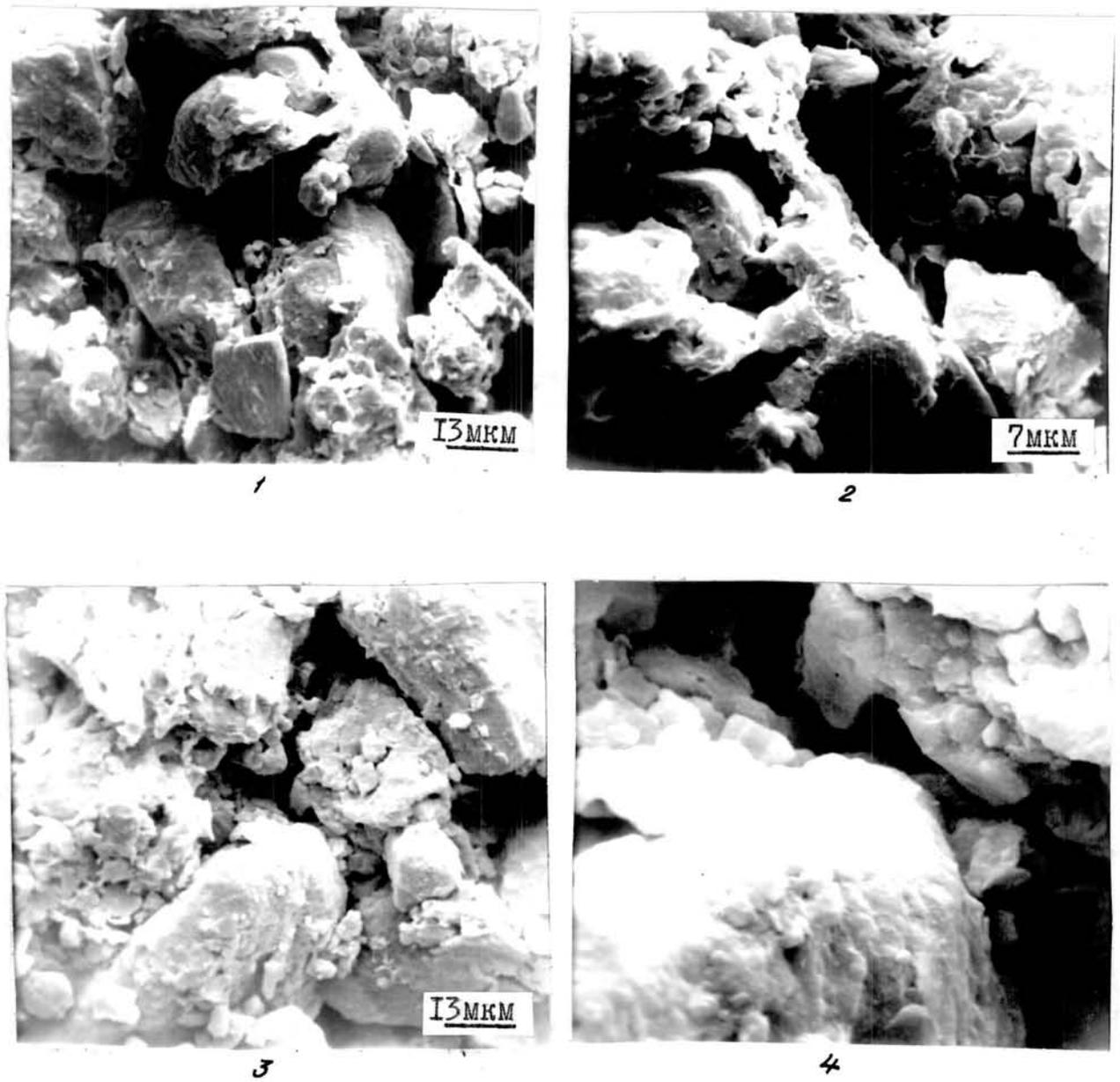


Рис. 61. Упаковка глобулярных микроагрегатов (1,2) и характер связи между ними (3,4) (средний лессовидный суглинок, образец №0А-5, гл. 8,0 - 8,2 м).

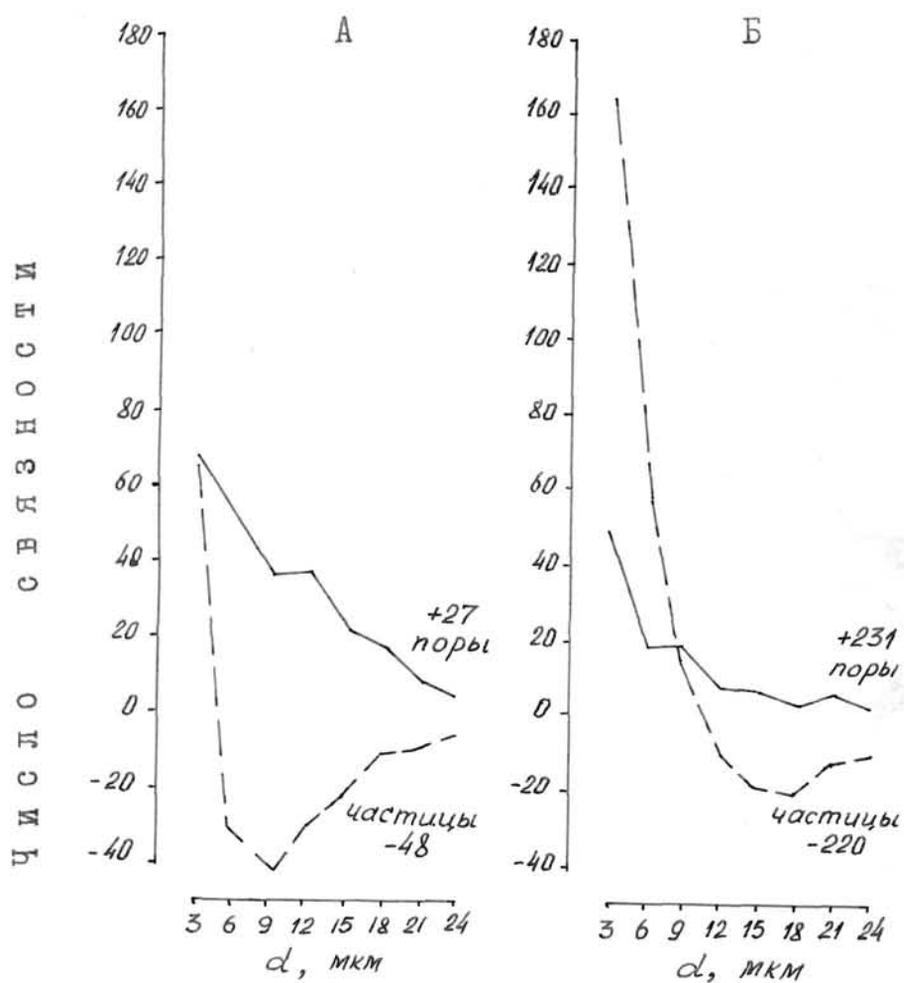


Рис. 62. Характеристики связности порового пространства и частиц среднего лессовидного суглинка (обр. № ОА-5): А - образец естественной структуры; Б - после одного цикла набухания-усадки.

ной методике. Анализировались электронно-микроскопические снимки (негативы, увеличением 110 раз).

Результаты количественного анализа структур образца естественного сложения и полученного в результате воздействия набухания-усадки показывают, что в процессе набухания-усадки происходит перестройка структуры порового пространства. В грунте формируются тонкие (до 5 мкм) вертикальные изолированные поры (число связности пор возрастает с 27 до 231). Структура породы становится более рыхлой, увеличиваются размеры пор (рис.63). И как следствие структурных изменений в процессе набухания-усадки увеличивается относительная просадочность грунтов (рис.64).

Кроме процесса набухания-усадки существенную роль в преобразовании свойств лессовых пород играет прогрессивное обезвоживание толщи (сушка) в условиях аридного климата. Обезвоживание толщи идет быстрее всего при высокой температуре и низкой относительной влажности воздуха. Подобные условия наблюдаются в Северном Прикаспии во время суховеев (см. 2.3.3.). Процесс обезвоживания толщи в преобразовании свойств пылеватых пород играет также определенную роль и в гумидных условиях на хорошо дренируемых территориях /171, 172/.

Изучение изменения просадочности в процессе сушки, проводилось на монолитах ательских лессовых пород, различных по гранулометрическому составу. Во всех без исключения случаях с уменьшением влажности отмечена незначительная усадка, плотность скелета грунтов увеличивается на 0,01-0,03 г/см³. Определение просадочности подсушенного грунта проводилось при влажностях: близкой к влажности максимальной гигроскопичности, максимальной молекулярной влагоемкости и в воздушно-сухом состоянии (рис.64) при нагрузке 0,3 МПа. Полученные результаты свидетельствуют,

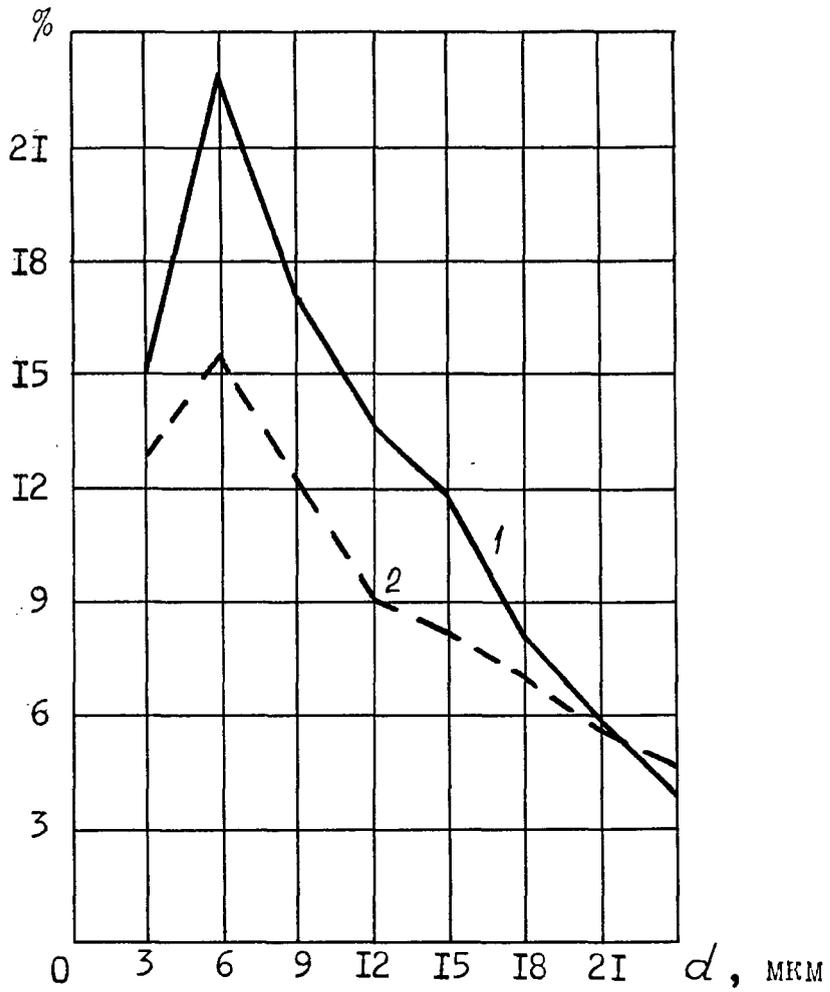


Рис. 63. Гистограммы распределения пор по размерам образца среднего лессовидного суглинка естественного сложения (1) и после одного цикла набухания-усадки(2).

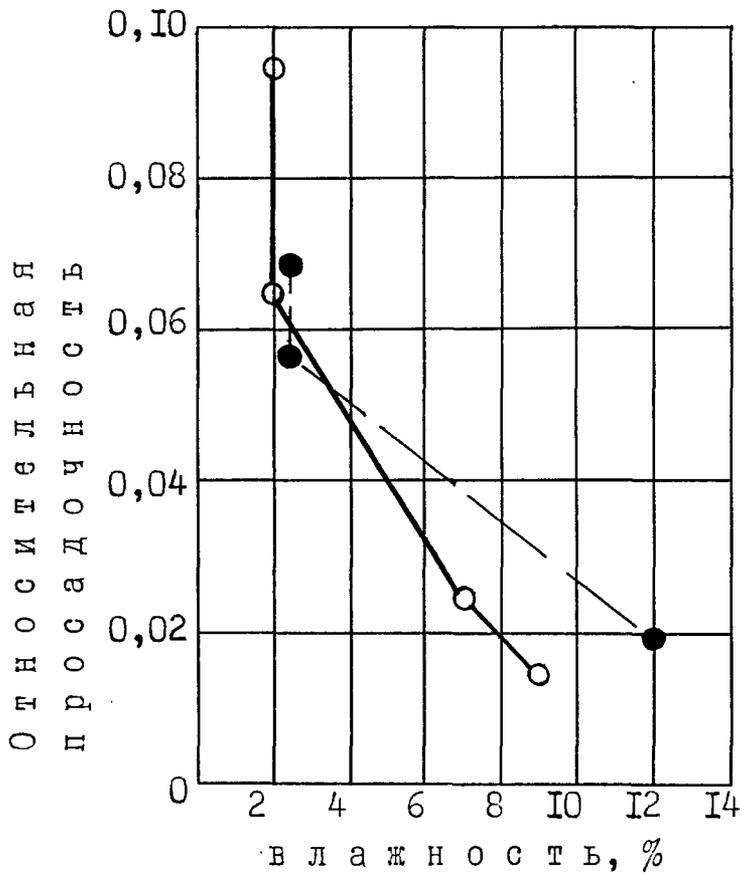


Рис. 64. Изменение относительной просадочности ательских лессовых грунтов в процессе сушки и после одного цикла набухания-усадки.

- - средний лессовидный суглинок;
- - тяжелый лессовидный суглинок.

что при снижении влажности происходит увеличение относительной просадочности и уменьшение сжимаемости грунтов при компрессии (рис. 65).

Проведенные эксперименты показали, что:

1. Характер микростроения и просадочность искусственных лессовых грунтов "водного" и "эолового" генезиса определяются воздействием увлажнения-высушивания (набухания-усадки) и промерзания-оттаивания. Анализ микростроения искусственных лессовых грунтов и лессовых грунтов естественного сложения показывает, что промерзание-оттаивание способствует образованию ажурной структуры, приближающейся к структуре лессового грунта, взятого для моделирования.

2. Лессовые породы естественной структуры при отсутствии внешнего давления (или при его незначительной величине) в процессе увлажнения набухают. Усадка в дальнейшем не приводит систему к исходному положению. Сравнительный анализ микростроения показывает, что после набухания-усадки в грунте формируется более крупная пористость.

3. Увеличение относительной просадочности грунтов может наблюдаться и при уменьшении их влажности в массиве (снижение уровня грунтовых вод, аридизация климата), наблюдаемая при этом усадка крайне незначительна (до 3%). Тот факт, что усадка не компенсирует набухание хорошо согласуется с теорией сушки /91/. При сушке полупространства усадка всегда меньше теоретической, так как нижние влажные слои препятствуют проявлению максимально возможной усадки.

Полученные результаты служат убедительным доказательством гипергенного происхождения просадочности ательских лессовых пород. При этом ведущая роль принадлежит процессам увлажнения-

высушивания (набухания-усадки) и промерзания-оттаивания, формирующим вертикальную открытую пористость, рыхлую упаковку структурных элементов и тем самым обуславливающим восстановление или приобретение просадочности ательскими лессовыми породами.

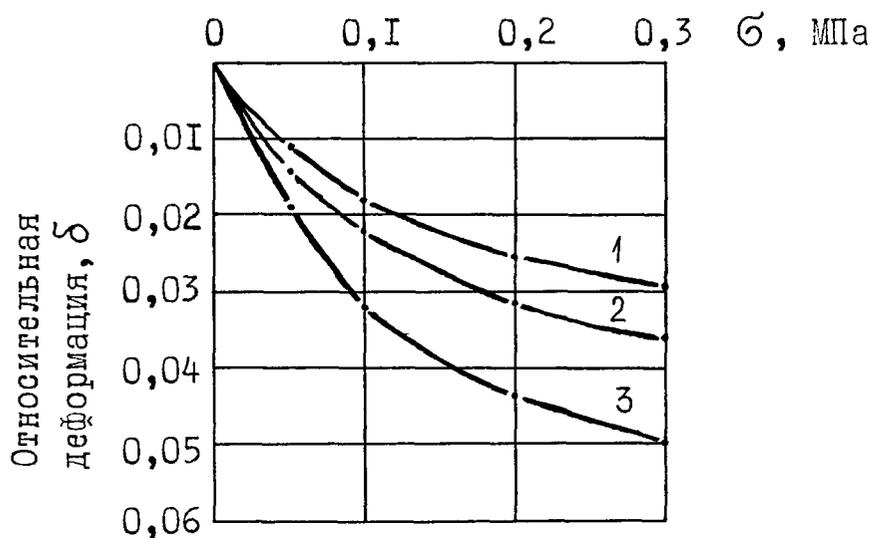


Рис. 65. Компрессионные кривые среднего лессовидного суглинка при влажности: 1. - 2% (W_r); 2. - 7,5%; 3. - 9% (W_{min}).

ГЛАВА 5. ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСАДОЧНОСТИ АТЕЛЬСКИХ ЛЕССОВЫХ ПОРОД

5.1. Анализ существующих точек зрения на условия формирования просадочности ательских лессовых пород.

Природа просадочности лессовых пород является наиболее дискуссионным вопросом в проблеме лессов. Совокупность гипотез о просадочности лессовых грунтов В.Т.Трофимов /170/ подразделил на две группы. Первая из них включает гипотезы, рассматривающие просадочность грунтов как их сингенетическое свойство, сформировавшееся непосредственно в ходе накопления и раннего диагенеза толщ. Гипотезы второй группы характеризуют просадочность как эпигенетическое свойство грунтов, приобретенное ими после завершения осадконакопления в ходе прогрессивного или регрессивного литогенеза. Подробный анализ большинства точек зрения сделан в ряде опубликованных работ, поэтому не будем на нем подробно останавливаться /78, 88, 151/. Отметим, что наиболее полно гипотеза о сингенетическом происхождении просадочности развита в трудах Н.Я.Денисова /50, 51/ и Н.И.Кригера /78, 79, 59/. Гипотеза о формировании просадочности как эпигенетического свойства в ходе гипергенного изменения пылеватых по составу пород в последние годы широко развивается в разных аспектах многими исследователями. В наиболее полном объеме она охарактеризована А.В.Минервиним и Е.М.Сергеевым /153, 154, 148 и др./. В настоящее время А.В.Минервиним высказывает мнение о возможности формирования просадочности, как сингенетического свойства, в процессе деградации сингенетических мерзлых толщ /101, стр.45/.

В связи с вышеизложенным, природа просадочности ательских лессовых пород, прошедших стадию затопления водами раннехвалынского бассейна, отложившего на них толщи морских песчано-сугли-

нистых отложений и шоколадных глин, является ключевым вопросом к познанию общих закономерностей формирования просадочности лессовых пород.

В настоящее время существует две точки зрения на условия формирования просадочности ательских лессовых пород Нижнего Поволжья. Рассмотрим подробно каждую из них.

В.Н.Синяков /158, 159/ дает сравнительную характеристику состава, состояния и свойств ательских лессовых пород и лессовых пород, слагающих водоразделы и склоны возвышенностей, обрамляющих Прикаспийскую низменность. Из сравнительного анализа, приведенного автором видно, что указанные лессовые породы обладают заметным сходством физических свойств, гранулометрического состава и при одинаковых значениях влажности и пористости величины относительной просадочности у них практически совпадают. Далее он высказывает мнение о том, что ательские породы в результате затопления водами раннехвалынского бассейна превратились в "средне-плотную глинистую породу", произошло разрушение их структуры и потеря просадочных свойств.

Возникновение просадочности ательских грунтов после регрессии раннехвалынского бассейна В.Н.Синяков связывает, исходя из представлений А.В.Минервина и Е.М.Сергеева, с процессами криогенного гипергенеза. По мнению автора сходство просадочных свойств покровных лессовых пород Приволжской возвышенности и погребенных лессов Прикаспийской низменности, учитывая различия в истории их формирования, указывает на образование просадочности в результате эпигенетических процессов и подтверждает представления Е.М.Сергеева и А.В.Минервина о криогенной природе просадочности лессов /158, стр.110/.

В.Н.Синяков в целом верно отмечает широкое развитие процес-

сов криогенного выветривания в позднехвалынское время и связь просадочности ательских отложений с их мерзлотным разуплотнением во время регрессии морского бассейна - в климатический минимум плейстоцена /29, 68/ несомненно существует. Вызывает возражение сопоставление ательских лессовых пород, слагающих водоразделы и склоны Приволжской, Ергенинской возвышенностей. Во-первых, еще П.А.Православлев указывал на связь этих двух типов лессовых пород, но предупреждал, "что параллелизовать его нужно не со всей толщей теперешнего покрова юга России, а лишь с определенными горизонтами такового" /128, стр.428-429/; у В.Н.Синякова не ясно с какой частью лессовых пород возвышенностей сопоставлены лессовые породы ательского возраста. Во-вторых, сравнение относительной просадочности этих лессовых пород проводится в диапазоне изменений естественной влажности от 0 до 20% (по интервалам 0-5%; 5-10%, 10-15% и 15-20%) в интервале изменения коэффициента пористости от 0,6 до 0,9; тогда как ательские лессовые породы имеют влажность выше 10% в 80% случаев (рис.32) и характеризуются плотным сложением - в 88% случаев имеют коэффициент пористости менее 0,75. В-третьих, они существенно отличаются по характеру и типу засоленности и загипсованности. Последнее замечание касается того факта, что криогенное разуплотнение хоть и является решающим фактором, не исчерпывает весь комплекс гипергенных процессов, приводящих к формированию просадочности лессовых пород. Совместными исследованиями с Н.Н.Комиссаровой /1982-1984г/ была установлена определяющая роль процессов набухания в разуплотнении непросадочных и слабопросадочных лессовых грунтов водного генезиса при переменном увлажнении-высушивании при положительных температурах.

В последнее время появились материалы (в основном радиоугле-

родные датировки), позволяющие датировать раннехвалынскую трансгрессию более молодым возрастом 10-20 тыс. лет назад /65, 146, 25/. Опираясь на эти данные, А.В.Минервин высказал другую точку зрения на природу просадочности ательских лессовых пород /101/. А.В.Минервин сформулировал положение о возможности существования отрицательных температур у вод раннехвалынского бассейна, так как развитие трансгрессии приходилось в этом случае на криогенный максимум верхнего плейстоцена 14-18 тыс. лет назад /101, стр. 45/. Геологически быстрая деградация мерзлоты в климатический оптимум голоцена способствовала сохранению разуплотненной рыхлой структуры ательских пород.

При всей своей красоте и простоте решения проблемы просадочности ательских лессовых пород эта точка зрения встречает ряд весьма существенных возражений:

1) в Нижнем Поволжье завершение накопления отложений ательской свиты и начало отложения нижнехвалынских морских осадков проходило практически без перерыва /176/, тогда как признание более молодого возраста раннехвалынской трансгрессии предполагает значительный для позднего плейстоцена перерыв в 25-30 тыс. лет, или в таком случае в ательских лессовых отложениях должен быть отсутствующий горизонт брянской почвы /31, 32/;

2) трудно объяснить длительное существование отрицательных температур вод раннехвалынского бассейна, имевшего соленость в максимальную стадию 6-7% /176, 141/, при обильном поступлении пресных вод со стороны Русской платформы; односторонний сток вод Каспия в Черное море по Манычскому прогибу способствовал еще большему опреснению /67/; палинологические данные свидетельствуют о некотором смягчении климата в максимальную стадию раз-

вития раннехвалынского бассейна /I, 35, I7/; анализ кальций-магниевого соотношения в раковинах морских моллюсков показывает, что температура вод была примерно $+14^{\circ}+16^{\circ}\text{C}$ /I46, I87, I88/;

3) геологические данные по увязке событий ледниковой и внеледниковой областей свидетельствуют, что раннехвалынская трансгрессия началась во время развития калининской (а не осташковской) стадии Валдайского оледенения, в долине Волги за пределами Прикаспийской впадины ей соответствует по возрасту II надпойменная терраса /7I, 23, 77/;

4) окончание раннехвалынской трансгрессии (при признании её молодого возраста) приходится на межстадиальное потепление "аллерёд" (от 11880 ± 340 лет до 10830 ± 200 лет до н.э.), который характеризовался теплым климатом, близким к современному /68, 95, 96, 83/.

Приведенный анализ показывает, что мерзлые ательские отложения должны были оттаять под водами раннехвалынского бассейна, полностью водонасытиться и утратить свои первоначальные просадочные свойства, то есть современная просадочность ательских отложений является результатом гипергенного преобразования толщи.

5.2. Ательский и послехвалынский континентальный гипергенез, как основной фактор формирования просадочности ательских лессовых пород.

Формирование инженерно-геологического облика ательских пород происходило от момента отложения до настоящего времени и состоит из ряда этапов. Каждый из этапов характеризуется резко различными условиями существования ательских пород и находит свое отражение в составе, состоянии и свойствах ательских пород.

На первом (ательском) этапе развития толщи шло накопление осадков в суровых перигляциальных условиях. О наличии перигляциальных условий в ательское время свидетельствуют многочисленные следы мерзлоты, развитые от кровли до подошвы, подробно изученные и описанные в литературе /9, 19, 110, 43, 77/ а также автором (см. 2.2.1.).

На границе хазарского и ательского времен происходит смена теплолюбивого фаунистического комплекса холодолюбивым /43, 47, 83/, среди ландшафтов преобладали перигляциальные степи. Процессы криогенного выветривания способствовали формированию лессового облика ательских отложений. В процессе криогенного облессования происходило постепенное стирание генетических различий отдельных фациальных и генетических пачек /99, 100, 101, 148, 153, 154/. Циклическое воздействие на породы процесса промерзания-оттаивания способствовало накоплению первичных и вторичных пылеватых частиц /97, 57/, происходило оформление основных структурных элементов-глобулярных микроагрегатов /151, 100, 101/.

Примечателен второй этап (раннехвалынский) - затопление ательской толщи водами раннехвалынского бассейна. Как уже было показано, ательские породы, находясь под морскими водами, должны были оттаять и, практически полностью, водонасытиться. В таком водонасыщенном состоянии ательская толща должна была уплотниться под действием нагрузки от собственного веса и веса отложенного сверху осадка. В водонасыщенном состоянии грунты воспринимают внешнюю нагрузку, согласно теории фильтрационной консолидации, полностью поровой водой, деформация скелета происходит по мере отжатия поровой воды. Гидростатическое давление (нагрузка от толщи воды) передается только на поровую воду, при этом деформации грунтов не происходит /48, 178, 37/. Промачивание морскими

водами имело существенное значение, определив "морской" тип засоления ательской толщи /44, 45, I63/: преобладающими являются хлоридный и сульфатно-хлоридный типы, способствовало формированию гипсовых конкреций в пяти верхних метрах толщи. Возможность такого перераспределения солей в толще вследствие подъема уровня грунтовых вод или инфильтрации атмосферных осадков не подтверждается натурными наблюдениями /33, 70, IO5/.

В позднехвалынское (осташковское) время на территории Северного Прикаспия вновь устанавливаются перигляциальные условия /IIО, 66/. Северный Прикаспий представлял собой область развития перигляциальных степей /I33, I36/, реликтом которых является бугристо-западинный микрорельеф /IO4/. Следы проявления мерзлотных процессов подробно рассмотрены в разделе 2.2.2. Следует добавить, что граница развития многолетнемерзлых пород опустилась на юге до 47° с.ш. /29/, а изученные следы палеомерзлоты в кровле шоколадных глин у поселка Черный Яр и Верхнее Лебяжье свидетельствуют, что глубоким сезонным промерзанием были охвачены и более южные районы Северного Прикаспия. Широкое развитие мерзлотных процессов способствовало дальнейшему облессованию ательской толщи и окончательному формированию главных структурных элементов - глобулярных микроагрегатов. Экспериментальные данные показывают, что формирование просадочности лессовых пород происходит не только вследствие процесса промерзания-оттаивания, но и в результате интенсивной вертикальной миграции влаги, приводящей к разрушению структуры грунта. Таким образом, в осташковское время глубокое промерзание способствовало коренной перестройке структуры порового пространства грунтов, залегающих в верхней части толщи; обусловило интенсивную вертикальную миграцию влаги к фронту промерзания и разуплотнения грунтов, залегающих в основании толщи

(наличие аномально высоких просадочных свойств отдельных разновидностей грунтов).

В заключительный (современный) этап развития на территории Северного Прикаспия установился резко континентальный засушливый климат. Резкое преобладание испарения над осадками и глубокий врез Волги способствовали иссушению толщи ательских лессовых пород. В современных климатических условиях, когда сезонное промерзание не превышает 1,0 м, основную роль в разуплотнении играет процесс периодического увлажнения-высушивания толщи. Экспериментально доказано, что увлажнение лессовых пород естественной структуры приводит к их набуханию, а последующие высушивание и усадка показывают, что произошло разуплотнение породы и увеличение относительной просадочности, при этом наблюдается перестройка структуры порового пространства. Подтверждением служит тот факт, что при отсутствии морских отложений под отрицательными формами микрорельефа, где периодическое промачивание дождевыми и тальными водами может протекать на глубину до 5-6 м, сформирована толща лессовых пород, обладающих более высокой просадочностью при одинаковых коэффициентах водонасыщения грунтов. В районах развития морских шоколадных глин процессы современного преобразования атель-ательских лессовых пород протекают до глубины примерно 0,50 м. Следовательно, выделяется два типа разрезов ательских отложений, отличающихся геологическим строением и длительностью гипергенного преобразования.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что повышенная просадочность ательских пород обусловлена процессами, связанными с миграцией воды в толще и с периодическим промерзанием-оттаиванием: I) эпигенетическим льдообразованием и миграцией воды к фронту промерзания (позднехвалынский век);

2) периодическим увлажнением-высушиванием на фоне общего иссушения толщи (современный век).

ВЫВОДЫ

1. На основании изучения условий залегания, строения разрезов ательских отложений, палеомерзлотных и палеоботанических исследований подтверждены перигляциальные условия формирования ательской толщи. В генетическом отношении ательские отложения представляют перигляциальный аллювий калининского возраста. Им свойственна ритмичность в строении разрезов: каждый ритм начинается мелкозернистыми песками, которые вверх сменяются лессовидными неслоистыми супесями и суглинками.

2. Впервые показана стадийность формирования инженерно-геологического облика ательских отложений: а) геологические и палеогеографические условия ательского времени обусловили формирование лессового состава и оформление основных структурных элементов грунтов; б) длительное нахождение под водами раннехвалынского моря привело к уплотнению отложений, формированию гипсовых конкреций и горизонтов средне-сильнозасоленных грунтов хлоридного и сульфатно-хлоридного типов засоления; в) перигляциальные условия позднехвалынского и климатические условия современного времени привели к формированию просадочных свойств у лессовидных суглинков и супесей.

3. Показано, что просадочные свойства ательских отложений определяются как составом, так и засоленностью и загипсованностью. Как правило, грунты горизонтов сильного и среднего засоления с большим количеством гипсовых конкреций обладают повышенной просадочностью, причем просадочность лессовидных супесей может

быть выше, чем у суглинков.

4. Установлена определяющая роль процессов набухания в разуплотнении непросадочных и слабопросадочных лессовых грунтов при переменном увлажнении-высушивании в условиях положительных температур. В процессе промерзания набухших образцов происходит фиксация разуплотненного состояния.

5. В Нижнем Поволжье выделяется два типа разрезов ательских отложений (перекрытых и неперекрытых шоколадными глинами), отличающихся геологическим строением и длительностью гипергенного преобразования. Для разрезов ательских отложений, не перекрытых шоколадными глинами, установлено, что под отрицательными формами микрорельефа, где толща чаще и на большую глубину подвержена периодическому промачиванию дождевыми и тальми водами, происходит формирование повышенной просадочности у лессовидных суглинков.

6. Лабораторные и полевые исследования роли гипергенных процессов в формировании просадочности ательских лессовых пород, анализ микростроения искусственных лессовых грунтов и лессовых грунтов естественного сложения доказывает, что просадочные свойства ательских лессовых пород сформированы в позднехвалынское-современное время вследствие однонаправленного воздействия двух главных процессов: периодического промерзания-оттаивания и увлажнения-высушивания, определяющих вертикальную миграцию влаги в толще.

И. В. Ковалева

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Абрамова Т.А. О нижнехвалынском споро-пыльцевом комплексе Западного Прикаспия. - Вестник МГУ, сер. география, 1974, № I, с.28-36
2. Ананьев В.П. Минералогический состав и свойства лессовых пород. - Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1964, - 144 с.
3. Ананьев В.П., Коробкин В.И. Минералы лессовых пород. - Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1980. - 200 с.
4. Антипов-Каратаев И.Н. Методы определения поглощения карбонатных почв. - Почвоведение, 1967, № 6, с.121-124.
5. Арбузова С.К. Минералогический состав ательских отложений южной части Волгограда. - В кн.: Новые методы строительства и проектирования. - Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во, 1966. - с.136-138.
6. Арбузова С.К. О колломорфных структурах хвалынских глин в Нижнем Поволжье. - Известия ВУЗов, геология и разведка, 1968, с. 22-28
7. Арбузова С.К., Синяков В.Н. Связь минералогического состава четвертичных глинистых пород Нижнего Поволжья с их физическими свойствами. - Инженерно-строительные изыскания, 1975, № 3, с. 15-21
8. Ариель Р.С., Березнер А.С. Опыт предварительного замачивания лессовых грунтов. - Гидротехника и мелиорация, 1965, № 4, с.39-45.
9. Архипов С.А. К литолого-фациальной характеристике хвалынских шоколадных глин и условиям их образования. - Бюлл. комиссии по изучению четвертичного периода, 1958, № 22, с. 19-25
10. Атлас - определитель моллюсков *Didacna Eichwald* из четвертичных отложений Центрального Прикаспия /составитель А.А.Сви-

точ/. - М.: Недра, 1967. - 87 с.

- II. Балаев Л.Г., Царев П.В. Лессовые породы Центрального и Восточного Предкавказья. - М.: Наука, 1964, - 245 с.
12. Батурин В.П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. - М.: Изд-во АН СССР, 1947. - 339 с.
13. Бондаренко В.И. О просадочности песков. - В кн.: Новые методы строительства и проектирования. - Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во, 1966. - с.132-135
14. Бондаренко В.И. Некоторые особенности строительных свойств ательских отложений. - В кн.: Вопросы устройства оснований и фундаментов в Волгоградской области. - Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во, 1971. - с.88-91
15. Боуэн Д. Четвертичная геология. - М.: Мир, 1981. - 272 с.
16. Брицина М.П. Распространение хвалыньских шоколадных глин и некоторые вопросы палеогеографии Северного Прикаспия. - Труды ин-та географии АН СССР, вып. 62. - М.: Изд-во АН СССР, 1954. - с.5-27.
17. Брылев В.А., Иванов И.В., Таболякова В.Я. Палеогеографические условия формирования Северо-Западного Прикаспия в раннехвалыньское время. - Известия АН СССР, сер. география, 1980, № 5, с.92-97.
18. Бутомо С.В. Некоторые химические проблемы радиоуглеродного датирования. - В кн.: Абсолютная геохронология четвертичного периода. - М.: Изд-во АН СССР, 1963. - с.64-69.
19. Васильев Ю.М. О следах проявления мерзлотных процессов в четвертичных отложениях Северного Прикаспия. - Известия АН СССР, сер. геология, 1958, № 12, с.110-111.
20. Васильев Ю.М. Четвертичные отложения Северного Прикаспия. - Известия АН СССР, сер. геология, 1959, № 5, с.60-73.

21. Васильев Ю.М. Хвалынские отложения Северного Прикаспия. - Бюлл. МОИП, отд. геолог., вып. 3, 1961. - с.70-84.
22. Васильев Ю.М. Антропоген Южного Заволжья. - Труды геологического ин-та АН СССР, вып. 49. - М.: Изд-во АН СССР, 1961. - 127 с.
23. Васильев Ю.М. О второй надпойменной террасе Нижней Волги. - В кн.: Верхний плейстоцен: стратиграфия и абсолютная геохронология. - М.: Наука, 1966. - с.166-170.
24. Васильев Ю.М. Континентальные субаквальные толщи в Нижнем Поволжье. - Бюлл. комиссии по изучению четвертичного периода, 1976, № 45, с.113-117.
25. Васильев Ю.М. Отложения перигляциальной зоны Восточной Европы. - М.: Наука, 1980. - 172 с.
26. Васильев Ю.М., Федоров П.В. К вопросу о соотношении морских и континентальных отложений Нижнего и Среднего Поволжья. - Известия АН СССР, 1961, № 9, с.91-99.
27. Васильев Ю.М., Федоров П.В. О стратиграфическом положении верхнехазарских отложений Нижнего Поволжья в единой шкале Каспийской области. - Известия АН СССР, сер. геология, 1965, № 12, с.48-57.
28. Васильев Ю.М., Ренгартен Н.В. Состав и условия образования плейстоценовых отложений Нижней Волги. - В кн.: Стратиграфия и палеогеография антропогена. - М.: Наука, 1982. - с.54-75.
29. Величко А.А., Природный процесс в плейстоцене. - М.: Наука, 1973. - 256 с.
30. Величко А.А., Маркова А.К. Две главные формы пор в лессах. - Доклады АН СССР, т.197, 1971, № 4, с.899-902.
31. Величко А.А., Морозова Т.Д. Особенности средне- и ниже-

- плейстоценовых почв на Русской равнине. - В кн.: Геология и фауна нижнего и среднего плейстоцена. - М.: Наука, 1972. - с. 60-68
32. Величко А.А., Морозова Т.Д. Почвенный покров верхнеплейстоценового брянского интерстадиала. - В кн.: Палеогеография Европы в позднем плейстоцене. - М.: Аэрогеология, 1978. - с. 35-45
33. Владыченский С.А. Влияние Веселовского водохранилища на почвы прибрежных территорий. - Почвоведение, 1960, № 2, с. 1-6.
34. Воронин А.М., Минервин А.В. Формирование просадочных свойств лессовых пород юга Западной Сибири в результате промерзания-оттаивания. - Вестник МГУ, сер. геология, 1973, № 2, с. 87-95.
35. Воронина К.В. О растительности Северного Прикаспия в период отложения шоколадных глин. - Уч. записки Саратовского университета, т. 64. - Саратов: Изд-во СГУ, 1959, с.
36. Воцкий С.С. Курс коллоидной химии. - М.: Химия, 1964, - 574 с.
37. Гаррелс Р., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. - М.: Мир, 1974. - 272 с.
38. Геология СССР, т. 46. - М.: Недра, 1970. - 320-340 с.
39. Гидрогеология СССР, т. 13. - М.: Недра, 1970. - 360 с.
40. Глухов И.Г. Природа просадочных явлений в лессах водного происхождения некоторых районов Средней Азии. - В кн.: Сб. статей по вопросам гидрогеологии и инженерной геологии. - М.: Изд-во МГУ, 1962. - с. 367-381.
41. Горецкий Г.И. О перигляциальной формации. - Бюлл. комиссии по изучению четвертичного периода, 1958, № 22, с. 26-29.

42. Горецкий Г.И. Генетические типы и разновидности перигляциальной формации. - В кн.: Мат-лы по генезису и литологии четвертичных отложений. - Минск: Наука и техника, 1961. - с.107-125.
43. Горецкий Г.И. Формирование долины р.Волги в раннем и среднем антропогене: Аллювий Пра-Волги. - М.: Наука, 1966. - 412 с.
44. Грамберг И.С. Основные направления диагенетического преобразования поровых вод и поглощенного комплекса морских глинистых отложений. - В кн.: Физические и химические процессы и фации. - М.: Наука, 1968, - с.109-115.
45. Грамберг И.С. Палеогидрохимия терригенных толщ. - Л.: Недра, 1973. - 170 с.
46. Гричук М.П., Гричук В.П. О приледниковой растительности на территории СССР. - В кн.: Перигляциальные явления на территории СССР. - М.: Изд-во МГУ, 1960. - с.17-31
47. Грищенко М.Н., Коптев А.И. Материалы к стратиграфии террасовых отложений долины Волги у села Приволжье. - Труды геологич. ф-та Воронежского ун-та, т.39. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1955. - с. 18-28
48. Далматов Б.И., Бронин В.Н., Заварзин Л.Г., Зеленкова Н.И. Оценка влияния гидростатического давления на уплотнение глинистых грунтов различной консистенции. - Инженерная геология, 1984, № 2, с.58-60.
49. Данилова Н.С., Баулин В.В. Следы криогенных процессов и их использование при палеогеографических реконструкциях ландшафтов. - В кн.: Палеокриология в четвертичной стратиграфии и палеогеографии. - М.: Наука, 1973. - с.35-47
50. Денисов Н.Я. Строительные свойства лесса и лессовидных су-

- глинков. - М.-Л.: Госстройиздат, 1953. - 155 с.
51. Денисов Н.Я. Природа прочности и деформаций грунтов. - М.: Стройиздат, 1972. - 280 с.
52. Дивисилова В.И. Взаимодействие водных растворов неорганических электролитов с глинами в процессе их набухания. - Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. канд. геол.-мин. наук.- М., 1972. - 23 с.
53. Доскач А.Г. Природа северной части Волго-Уральского междуречья. - В кн.: Почвы комплексной равнины Северного Прикаспия и их мелиоративная характеристика. - М.: Наука, 1964, с.7-21
54. Дудлер И.В., Потапов А.Д. Морфогенетические особенности песков, их изучение и инженерно-геологическое значение. - Инженерная геология, 1984, № 4, с.43-56.
55. Егоров С.Н. Некоторые данные о просадочности макропористых грунтов г.Волжского. - Труды Гидропроекта, т.II. - М., 1964, с.22-28
56. Егоров С.Н. Физико-механические свойства ательских глинистых грунтов Зakanальной части Волгограда. - В кн.: Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. - Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во, 1966. - с.140-142.
57. Ершов Э.Д. Преобразование дисперсных пород при многократном промерзании-оттаивании. - Инженерная геология, 1984, № 3, с.59-66.
58. Жуков М.М. Плиоценовая и четвертичная история севера Прикаспийской впадины. - В кн.: Проблемы Западного Казахстана, т.2. - М.: Изд-во АН СССР, 1945. - 236 с.
59. Закономерности формирования просадочных свойств лессовых пород Средней Азии и Южного Казахстана. Под ред. Н.И.Кригера. - М.: Наука, 1981. - 132 с.

60. Зиангиров Р.С., Роот П.Э., Филимонов С.Д. Практикум по механике грунтов. - М.: Изд-во МГУ, 1984, - 150 с.
61. Злочевская Р.И., Кривошеева Э.А., Воробьева Л.Г. Исследование состояния влаги в лессовых грунтах методом адсорбционно-структурного и термовесового анализов. - Инженерная геология, 1980, № 2, с.71-79.
62. Зубков В.А. Хронология трансгрессий Каспия. - В кн.: Всесоюзный симпозиум по истории озер и внутренних морей аридной зоны /тез. докладов/. - Л.: Наука, 1975, с.15-18.
63. Зубков В.А., Кочегура В.В., Судакова Н.Г., Шелкопляс В.Н. Корреляция новейших отложений Понто-Каспия и Русской равнины с помощью физико-химических методов. - В кн.: Геология четвертичного периода (плейстоцен). - Ереван: Изд-во АН Арм.ССР, 1977. - с.198-203.
64. Итоги биостратиграфических, литологических и физических исследований плицена и плейстоцена Волго-Уральской области. - Уфа: Наука, 1977. - 152 с.
65. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Парунин О.В., Федоров Е.В., Шлюков А.И. Список радиоуглеродных датировок лаборатории Географического ф-та МГУ и Института Океанологии АН СССР (индекс МГУ-ИОАН). - Вестник МГУ, сер. география, 1971, № 4, с.104-108.
66. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Рычагов Г.И., Парунин О.Б., Свиточ А.А., Шлюков А.И. Хронология и палеогеография плейстоцена Понто-Каспия (по данным абсолютного датирования). - В кн.: Палеогеография и отложения плейстоцена южных морей СССР. - М.: Наука, 1977. - с.17-35
67. Квасов Д.Д. Палеогидрология Каспия в хвалынское время. - В кн.: Верхний плейстоцен: стратиграфия и абсолютная гео-

хронология. - М.: Наука, 1966. - с.175-180.

68. Кинд Н.В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. - Труды геологического ин-та АН СССР, вып. 257. - М.: Наука, 1974. - 255 с.
69. Ковда В.А. Почвы Прикаспийской низменности. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. - 256 с.
70. Ковда В.А., Егоров В.В., Морозов А.Т., Лебедев Ю.П. Закономерности процессов соленакопления в пустынях Арало-каспийской низменности. - Труды Почвенного ин-та им.В.В.Докучаева, т.44. - М.: Изд-во АН СССР, 1954. - с.3-60
71. Кожевников А.В. К истории формирования долины Волги. - В кн.: Опыт и методика изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий крупных водохранилищ. - М.: Изд-во МГУ, 1959. - с.13-61.
72. Кожевников А.В. К стратиграфии антропогена Поволжья и Понто-Каспия. - В кн.: Проблемы периодизации плейстоцена. - Л.: Географич. общ-во Союза ССР, 1971. - с.22-27.
73. Кожевников А.В. Генетическая типизация антропогенных осадочных образований. - Вестник МГУ, сер. геология, 1984, № 4, с.24-38.
74. Кожевников К.Я. Быстрый и точный метод определения емкости поглощения в карбонатных почвах. - Почвоведение, 1960, № 2, с.100-102.
75. Коломенский Е.Н., Серра Ж.П. Теоретические основы количественного описания структуры и текстуры горных пород в инженерной геологии. - В кн.: Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. - М.: Изд-во МГУ, 1978. - с.45-51.
76. Коломенский Е.Н., Кофф Г.Л. О возможности палеогеографических реконструкций по результатам инженерно-геологических

- исследований строения грунтов. - Инженерная геология, 1979, № 3, с.44-48.
77. Колтев А.И. Стратиграфическое положение ательских и ахтубинских слоев Нижнего Поволжья. - В кн.: Верхний плейстоцен: стратиграфия и абсолютная геохронология. - М.: Наука, 1966, - с.170-174.
78. Кригер Н.И. Лесс, его свойства и связь с географической гредой. - М.: Наука, 1965. - 296 с.
79. Кригер Н.И., Буйницкий В.Ф., Горюнова Л.А. и др. Миграция воды при замачивании и осушении лессовых пород. - Труды ПНИИИС, вып. 57. - М., 1978, с.37-67.
80. Крылков Ю.В. Перигляциальная и лессовая формации. - В кн.: Инженерно-геологические свойства лессовых пород. - М.: Наука, 1966. - с.106-108
81. Кузнецов В.А. Особенности геохимической дифференциации аллювия в зависимости от развития речных долин. - В кн.: Материалы к совещанию по геохимии гипергенеза. - Минск: Наука и техника, 1964. - с.17-19
82. Лаврушин Ю.А. Аллювий равнинных рек субарктического пояса и перигляциальных областей материковых оледенений. - Труды геологического ин-та АН СССР, вып. 87. - М.: Изд-во АН СССР, 1963. - 266 с.
83. Лазуков Г.И., Гвоздовер М.Д., Рогинский Я.Я., Урысон М.И., Харитонов В.М., Якимов В.П. Природа и древний человек (основные этапы развития природы палеолитического человека и его культуры на территории СССР в плейстоцене). - М.: Мысль, 1981, - 223 с.
84. Ларионов А.К. Инженерно-геологическое изучение структуры рыхлых осадочных пород. - М.: Недра, 1966. - 328 с.

85. Ларионов А.К. Механизм и природа просадок и их роль в рельефообразовании. - В кн.: Современные экзогенные процессы рельефообразования. - М.: Наука, 1970. - с.179-188.
86. Ларионов А.К. Методы исследования структуры грунтов. - М.: Недра, 1971. - 199 с.
87. Ларионов А.К., Казанцев В.В. Некоторые особенности размокаемости лессовых грунтов. - Инженерная геология, 1984, № 5, с.11-23.
88. Ларионов А.К., Приклонский В.А., Ананьев В.П. Лессовые породы и их строительные свойства. - М.: Госгеолтехиздат, 1959. - 367 с.
89. Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород. - Л.: Недра, 1972. - 312с.
90. Лукашев К.И., Лукашев В.К. Геохимия зоны гипергенеза. - Минск: Наука и техника, 1975. - 424 с.
91. Лыков А.В. Теория сушки. - М.: Энергия, 1968. - 471 с.
92. Лысенко М.П. Лессовые породы Европейской части СССР. - Л.: Недра, 1967. - 192 с.
93. Лысенко М.П. Лессовые породы. - Л.: Недра, 1978. - 208 с.
94. Макаров С.А., Романов А.А., Седайкин В.М. Четвертичные отложения Нижней Волги и Северного Прикаспия. - В кн.: Плиоцен и плейстоцен Волго-Уральской области. - М.: Наука, 1981. - с.123-127.
95. Марков К.К., Лазуков Г.И., Николаев В.А. Четвертичный период, т. I и т. II (территория СССР). - М.: Изд-во МГУ, 1965. - 372 с. и 436 с.
96. Марков К.К., Величко А.А. Четвертичный период, т. III (материки и океаны). - М.: Недра, 1967. - 440 с.
97. Мерзлотоведение (краткий курс). Под ред. В.А.Кудрявцева. -

М.: Изд-во МГУ, 1981. - 239 с.

98. Минервин А.В. Формирование просадочных свойств лессов из эоловой пыли в современных условиях Средней Азии. - Инженерная геология, 1979, № 3, с.51-60.
99. Минервин А.В. Роль криогенных процессов в формировании лессовых пород. - В кн.: Проблемы криолитологии, вып.Х. - М.: Изд-во МГУ, 1982. - с.41-60.
100. Минервин А.В., Комиссарова Н.Н. Формирование структуры и текстуры просадочных лессовых пород Минусинского межгорного прогиба. - Инженерная геология, 1979, № 1, с.70-83.
101. Минервин А.В., Комиссарова Н.Н., Чепижный К.И., Соколов В.Н. Формирование структурных элементов лессовых пород. - Инженерная геология, 1982, № 2, с.44-60.
102. Минервин А.В., Комиссарова Н.Н. Природа просадочности лессовых пород. - В кн.: Вопросы инженерной геологии и грунтоведения, вып.5. - М.: Изд-во МГУ, 1983. - с.16-31.
103. Минервин А.В., Сергеев Е.М. Новые данные к решению проблемы лесса. - Известия АН СССР, сер.геология, 1964, № 9, с.53-64.
104. Мозесон Д.Л. Типы западного микрорельефа Волго-Уральского междуречья. - Труды ин-та географии АН СССР, т.69, вып.16. - М.: Изд-во АН СССР, 1956, с.37-92.
105. Молодцов В.А. Изменение глубины залегания и минерализации грунтовых вод при орошении целинных почв Голодной степи. - Почвоведение, 1967, № 5, с.114-120.
106. Молодцов В.А., Абатурова Т.И., Игнатова В.П. К определению карбонатов и гипса в почвах. - Почвоведение, 1979, № 4, с.125-131.

107. Морозов С.С. Новое в решении проблемы лесса. - Уч. записки Московского ун-та, вып.149. - М.: Изд-во МГУ, 1951, с.19-33
108. Морозов С.С. Изменение в составе и свойствах лессовых пород в зависимости от нахождения их в различных природных зонах. - Вестник МГУ, сер.геология, 1962, № 4, с.13-24.
109. Москвитин А.И. Соотношения надпойменных террас Волги и древних трансгрессий Каспия с оледенениями. - Доклады АН СССР, т.136, 1961, № 3, с.426-429
110. Москвитин А.И. Плейстоцен Нижнего Поволжья. - Труды Геологич. ин-та АН СССР, вып.64. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 264 с.
111. Мудров Ю.В. Пористость покровных лессовидных образований. - В кн.: Проблемы криолитологии, вып.Х. - М.: Изд-во МГУ, 1982. - с.61-67.
112. Николаев Н.И. Стратиграфия четвертичных отложений Прикаспийской низменности и Нижнего Поволжья. - В кн.: Стратиграфия четвертичных отложений и новейшая тектоника Прикаспийской низменности. - М.: Изд-во АН СССР, 1953. - с.101-121.
113. Опыт корреляции плиоценовых и плейстоценовых отложений Волго-Уральской области (объяснительная записка и стратиграфическая схема). - Уфа: Наука, 1981. - 33 с.
114. Орехов С.Я. Литолого-минералогические исследования древне-четвертичных каспийских отложений Нижнего Поволжья. - Уч. записки Ростовского ун-та, т.33, вып.6, 1955, с.85-100.
115. Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. - М.: Изд-во МГУ, 1979. - 232 с.
116. Осипов В.И. Природа прочности песков. - Инженерная геология, 1984, № 3, с.7-19.

- II7. Передельский Л.В., Ананьев В.П. Набухание и усадка глинистых грунтов. - Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1973. - 144 с.
- II8. Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. - М.: Недра, 1972. - 288 с.
- II9. Перельман А.И. Геохимия. - М.: Высшая школа, 1979. - 423с.
- I20. Платов Н.А. Природа структурных связей песчаных несцементированных грунтов. - М.: Наука, 1982. - 95 с.
- I21. Попов А.И. Лессовые и лессовидные породы как продукт криолитогенеза. - Вестник МГУ, сер. география, 1967, № 6, с.43-48
- I22. Попов А.И. Мерзлотные явления в земной коре (криолитология). - М.: Изд-во МГУ, 1967. - 128 с.
- I23. Попов Г.И. Сравнительная стратиграфия четвертичных отложений Манычского пролива, Каспия, Эвксина. - Труды комиссии по изучению четвертич. периода, т.13, 1957, с.53-58
- I24. Попов Г.И. Корреляция черноморских и каспийских четвертичных отложений. - В кн.: Мат-лы Всесоюзного совещания по изучению четвертичного периода, т.2. - М.: Изд-во АН СССР, 1961. - с.60-71
- I25. Попов Г.И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. - М.: Наука, 1983. - 328 с.
- I26. Попов Г.И., Куликова Д.И. О соотношениях аллювиальных и морских четвертичных отложений Нижнего Поволжья. - В кн.: Мат-лы геологических исследований на территории Нижнего Дона и Нижней Волги. - Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1966. с. 21-26
- I27. Почвы комплексной равнины Северного Прикаспия и их мелиоративная характеристика. Введение. - М.: Наука, 1964, с.3-6.
- I28. Православлев П.А. Материалы к познанию Нижневолжских Кас-

пийских отложений. Часть I. Астраханское Заволжье. - Варшава, 1908. - 464 с.

129. Православлев П.А. Каспийские осадки по р.Уралу. - Известия Алексеевского Донского Политехнич. ин-та, т.II, отд.II. - Новочеркасск, 1913. - 60 с.
130. Православлев П.А. О значении вертикальных изменений в окраске песчано-глинистых пород в области нижнего течения р.р.Большого и Малого Узеней. - Известия Российской Академии Наук, VI серия, 1918, № 6, с.1843-1854.
131. Православлев П.А. Гидрогеологические условия в области нижнего течения р.р.Большого и Малого Узеней. - Труды Петроградского общества естествоиспытателей, т.39-53, вып.4, 1924, с.122-136.
132. Православлев П.А. Предисловие к статье Веры Громовой ("Новые материалы по четвертичной фауне Поволжья"). - Труды комиссии по изучению четвертич. периода, т.2, 1932, с.69-73.
133. Природа и развитие первобытного общества. - М.: Наука, 1969. - 258 с.
134. Приклонский В.А., Горькова И.М., Окнина Н.А., Реутова Н.С., Чепик В.Ф. Инженерно-геологические особенности хвалыньских глинистых пород в связи с условиями их формирования. - Труды лаборатории гидрогеологических проблем, т.XIII, 1956. - 150 с.
135. Пуннинг Я.М. О погрешностях радиоуглеродного метода и о контроле полученных дат. - Известия АН ЭССР, химия-геология, т.19, 1970, № 3, с.33-40
136. Равнины Европейской части СССР. - М.: Наука, 1974. - 255с.
137. Равский Э.И. Осадконакопление и климаты Внутренней Азии в антропогене. - М.: Наука, 1972. - 336 с.

138. Романовский Н.Н. Формирование полигонально-жильных структур. - Новосибирск: Наука, 1977. - 212 с.
139. Рухин Л.Б. Основы литологии. Учение об осадочных породах. - Л.: Недра, 1969. - 703 с.
140. Рухина Е.В. О минеральном составе песчано- алевритовой фации ледниковых отложений и использование её в палео-географических и стратиграфических целях. - В кн.: Современный и четвертичный континентальный литогенез. - М.: Наука, 1966. - с.157-161.
141. Рычагов Г.И. О колебаниях солёности Каспийского моря в плейстоцене. - Вестник МГУ, сер. география, 1978, № 5, с.27-31.
142. Рябченков А.С. О происхождении лесса и лессовидных суглинков Русской равнины в свете минералогических данных. - Бюлл. МОИП, отд. геолог., вып.2, 1960, т. XXXV, с.62-77.
143. Свиточ А.А. Стратиграфия и тектоника верхнеплиоценовых и четвертичных отложений центральной части Волго-Уральского междуречья Северного Прикаспия. - Автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. геол.-минер. наук. - М., 1966.-27с.
144. Свиточ А.А. Четвертичные отложения Волго-Уральского междуречья Северного Прикаспия. - Советская геология, 1966, № 12, с.59-70.
145. Свиточ А.А. Хазарские отложения Волго-Уральского междуречья Северного Прикаспия. - Труды ВНИИ Природных Газов, вып. 31-32, 1971, с.3-9.
146. Свиточ А.А. Корреляция палеогеографических событий позднего плейстоцена (по материалам опорных разрезов). - Вестник МГУ, сер. география, 1982, № 6, с.97-102.
147. Сергеев Е.М. Грунтоведение. - М.: Изд-во МГУ, 1959. - 334 с.

- I48. Сергеев Е.М. Генезис лессов в связи с их инженерно-геологическими особенностями. - Вестник МГУ, сер. геология, 1976, № 5, с.3-15.
- I49. Сергеев Е.М. Инженерная геология. - М.: Изд-во МГУ, 1982. - 248 с.
- I50. Сергеев Е.М., Быкова В.С., Минервин А.В., Котельникова Н.Е., Комиссарова Н.Н. Методологические основы и методика составления карты распространения и прогноза просадочности лессовых пород СССР. - Инженерная геология, 1982, № 3, с.36-43.
- I51. Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Зянгиоров Р.С., Осипов В.И., Трофимов В.Т. Грунтоведение. - М.: Изд-во МГУ, 1983. - 390 с.
- I52. Сергеев Е.М., Грабовска-Ольшевска Б., Осипов В.И., Соколов В.Н. Типы микроструктур глинистых пород. - Инженерная геология, 1979, № 2, с.48-58.
- I53. Сергеев Е.М., Минервин А.В. Сущность процесса облессования в подзолистой зоне. - Вестник МГУ, сер. геология, 1960, № 3, с.143-150.
- I54. Сергеев Е.М., Минервин А.В., Комиссарова Н.Н. Генезис просадочности лессовых пород. - В кн.: Тезисы докладов к XI Конгрессу ИНКВА. - М.: ВИНТИ, 1982. - с.280-281.
- I55. Серебрянный Л.Р. Динамика покровного оледенения и гляцио-эвстазия в позднечетвертичное время. - М.: Наука, 1978. - 270 с.
- I56. Синяков В.Н. Региональные таблицы нормативных и расчетных характеристик основных типов грунтов территории Волгоградской агломерации. - Инженерно-строительные изыскания, 1975, № 4, с.22-28
- I57. Синяков В.Н. Об итильских и сингильских слоях Северного

Прикаспия. - Булл. комиссии по изучению четвертич. периода, 1979, № 49, с.127-131.

158. Сняжков В.Н. Инженерно-геологическая характеристика лессовых просадочных пород Нижнего Поволжья и некоторые особенности их исследований. - В кн.: Проектирование и строительство зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах. Том I. Лессовые породы и методы их исследований. - Барнаул, 1980. - с.109-113.
159. Сняжков В.Н. Инженерно-геологические особенности верхнечетвертичных лессовых пород Нижнего Поволжья в связи с историей их формирования. - Инженерная геология, 1981, № 5, с.65-72.
160. Сняжков В.Н., Кузнецова С.В. Инженерно-геологическое районирование Нижнего Поволжья и прилегающих территорий. - Инженерная геология, 1981, № 4, с.26-37.
161. Славный Ю.А., Кауричева Э.Н. Особенности засоления почв Приволжской гряды. - Почвоведение, 1967, № 5, с.121-130.
162. Соколовский А.Н. Значение физико-химических свойств лесса для познания его генезиса. - В кн.: Лессовые породы Украины. - Киев: Наукова думка, 1957. - с.116-124.
163. Спиро Н.С. Поглощенный комплекс морских отложений. - Труды НИИГА, т.161, вып.5, 1969. - с.21-67.
164. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Основания зданий и сооружений. СНиП II-15-74. - М.: Стройиздат, 1975. - 64 с.
165. Строительные нормы и правила. Строительная климатология и геофизика. СНиП 2.01.01.-82. - М.: Стройиздат, 1983. - 136с.
166. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. - Киев: Наукова думка, 1975. - 352 с.
167. Теодорович Г.И. Минералы осадочных пород как показатели

- физико-химической обстановки. - В кн.: Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. - М.: Изд-во АН СССР, 1946.-с.12-20
- I68. Техническая мелиорация пород. Под ред. С.Д.Воронкевича. - М.: Изд-во МГУ, 1981. - с.3-69.
- I69. Точиллов В.И. К теории процесса конденсации влаги атмосферного воздуха почвогрунтами. - Почвоведение, 1960, № 2, с.7-14.
- I70. Трофимов В.Т. О гипотезах формирования просадочности лессовых пород. - В кн.: Проблемы лессовых пород в сейсмических районах. - Ташкент: Фан, 1980. - с.100-103.
- I71. Трофимов В.Т., Бондаренко В.С. Особенности современного облессования пород различного гранулометрического состава в гумидных условиях. - В кн.: Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. - М.: Изд-во МГУ, 1983, вып.5, с.32-43.
- I72. Трофимов В.Т., Бондаренко В.С. О результатах моделирования формирования просадочности грунтов в процессе прогрессивного литогенеза. - Инженерная геология, 1983, № 6, с.32-37.
- I73. Фадеев П.И. Гранулометрический состав песчаных пород и методы его определения. - В кн.: Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород, т.1. - М.: Изд-во МГУ, 1970. - с.288-303.
- I74. Федоров П.В. Стратиграфия четвертичных отложений и история развития Каспийского моря. - Труды Геологич, ин-та АН СССР, вып.10. - М.: Изд-во АН СССР, 1957. - 297 с.
- I75. Федоров П.В. Подразделение хазарских отложений и их положение в шкале Каспийского плейстоцена. - Бюлл. МОИП, отд. геологич., т.47, вып.2, 1972, с.81-87.
- I76. Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. - Труды Геологич. ин-та АН СССР, вып.310. - М.:Наука, 1978. - 167 с.

177. Федорович Б.А. Мерзлотные образования в степях и пустынях Евразии. - Труды комиссии по изучению четвертичного периода, вып. XIX. Вопросы стратиграфии и палеогеографии четвертичного периода (антропогена). - М.: Изд-во АН СССР, 1962. - с.70-100.
178. Харр М.Е. Основы теоретической механики грунтов. - М.: Стройиздат, 1971. - 319 с.
179. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. - М.: Недра, 1975. - 303 с.
180. Четвертичные отложения, рельеф и неотектоника Нижнего Поволжья. Под ред. А.В.Вострякова. - Саратов: Изд-во СГУ, 1978. - 183 с.
181. Шамрай И.А., Орехов С.Я. Минералогические особенности четвертичных лессовидных суглинков и их морских аналогов в бассейне Нижнего Дона и в Нижнем Поволжье. - Доклады АН СССР, новая серия, т. 85. 1952, № 2, с. 417-420
182. Шамрай И.А., Орехов С.Я. Минералогические критерии для стратиграфического выделения четвертичных отложений на юге Европейской части СССР. - Уч. записки Ростовского ун-та, т. XXXIV, вып. 7, 1956, с. 65-75
183. Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит. - Труды ин-та геологич. наук АН СССР, вып. 135, - М.: Изд-во АН СССР, 1951. - 276 с.
184. Шанцер Е.В. Типы аллювиальных отложений. - В кн.: Вопросы геологии антропогена. - М.: Изд-во АН СССР, 1961. - с. 188-199
185. Шанцер Е.В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. - Труды Геологич. ин-та АН СССР, вып. 161. - М.: Наука, 1966. - 239 с.

186. Шевченко Л.В. Деформации и напряжения усадки в промерзающих дисперсных породах. - Автореферат дисс. на соискание уч. степени кандидата геол.-минер. наук.-М: 1978. - 25 с.
187. Шкатова В.К. Новые представления о стратиграфии и палеогеографии плейстоцена Северного Прикаспия. - Труды ВСЕГЕИ, т.222, 1977, с.21-26.

Фондовые материалы:

188. Шкатова В.К. Отчет по теме № 139: "Изучение опорных разрезов четвертичных отложений СССР с целью разработки местных стратиграфических схем (Опорный разрез Западного Казахстана)". - Л.: ВСЕГЕИ, 1972 (ПО "Союзгеолфонд", регистрационный № 323152).
189. Габриэлян А.Г., Григорьев Н.В., Кашлев В.М. и др. Отчет о составлении инженерно-геологических карт масштаба 1:500000 и 1:200000 для целей мелиорации территории Волгоградской области. - Саратов-Волгоград, 1976 (ПО "Союзгеолфонд", регистрационный № 357120).

Литература на английском языке:

190. Baker H.W. Environmental Sensitivity of Submicroscopic surface Textures on Quartz Sand Grains - a Statistical Evaluation. - J. Sed. Petrology, Vol. 46, ¹⁹⁷⁶ No 4, p. 871-88
191. Gillott J.E. Study of the fabric of fine-grained sediments with the scanning electron microscope. - J. Sed. Petrology, Vol. 39, 1969, No 1, p. 90-105
192. Krinsley D.H., Doornkamp J.C. Atlas of Quartz Sand Surface Textures. - Cambridge University Press, 1973. - 91 p.
193. Lucci F.R. Shrinkage Cracks on Frosted surface of Desert Sand Grains; JEDL News, Vol. 9e, 1971, No 1, p. 18-20

194. Margolis S. Electron microscopy of chemical solution and mechanical abrasion features on quartz sand grains. - *Sed. Geology*, Vol. 2, 1968, p. 243-256.
195. Quigley R.M., Inculet I.I., Beisser E.M.J. Clay-coal charge transfer and beneficiation by dry mineral removal. - *Can. Geotech. J.*, Vol. 19, 1982, No 4, p. 508-511
196. Sales F.L. The solubility of CaCO_3 in sea water at 2°C based upon in situ samples pore water composition. - *Mar. Chemistry*, Vol. 9, 1980, p. 1058-1064.
197. Sergeyev Y.M., Grabowska-Olszewska B., Osipov V.I., Sokolov V.N., Kolomenski Y.N. The classification of microstructures of clays soils. - *J. Microscopy*, Vol. 120, 1980, Pt. 3., p. 237-260.
198. Yong R.N., Cheung C.H., Sheeran D.E. Prediction of salt influence on unfrozen water content in frozen soils. - *Engineering Geology*, 1979, 13, p. 137-155.