

А К А Д Е М И Я    Н А У К    С О Ю З А    С С Р

**Т Р У Д Ы**  
**ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

ВЫПУСК 43. СВЕРЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ (№ 6)

Н. Ф. Фролова. МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
РАЗРЕЗА ВЕРХНЕЮРСКИХ ПОРОД ПО ШАХТЕ МЕТРОСТРОЯ «ДИНАМО»  
В МОСКВЕ. — В. Ширямов. К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕ-  
ГОВЫХ СКЛОНОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

**Н. В. ФРОЛОВА****МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЕЗА  
ВЕРХНЕЮРСКИХ ПОРОД ПО ШАХТЕ МЕТРОСТРОЯ „ДИНАМО“  
В МОСКВЕ****ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА**

В связи с колоссальным развитием строительства в различных геологических условиях за последнее десятилетие, производились большие работы по инженерно-геологической оценке горных пород, являющихся основанием для возведения различного рода сооружений. Несмотря на то, что лабораторным исследованием горных пород (грунтов) занимаются десятки лабораторий СССР, большинство весьма распространенных и обычных в практике строительства горных пород остаются неизвестными в отношении инженерно-геологических свойств, поскольку опыт лабораторного исследования различных грунтов не обобщается, не подвергается дальнейшей проработке и вообще не используется в практическом и научном отношении.

Это объясняется в значительной мере случайностью и отсутствием систематичности и полноты исследования отдельных горных пород.

Принимая во внимание указанные обстоятельства, Сектор инженерной геологии Института геологических наук Академии Наук поставил в план своих работ тему: изучение инженерно-геологических свойств горных пород СССР, в частности пород, встречающихся в практике проектирования и строительства Москвы и ее окрестностей.

Полагая, что определение одних лишь так называемых физико-технических свойств не дает полного представления о породе без связи с физико-химическими и минералогическими свойствами ее, Сектор инженерной геологии считает необходимым провести систематические исследования по некоторым горным породам, в состав которых должны входить как физико-химические исследования и исследования минералогического состава пород, так и физико-механические исследования и сопоставление одних свойств с другими, а также с генезисом пород и историей их существования. Одними из таких пород были выбраны породы глинистой толщи верхней юры Подмосковного района, пользующиеся значительным распространением, залегающие на сравнительно небольшой глубине и являющиеся основанием для некоторого рода сооружений. Юрские глины в строительном отношении не пользуются особенно благоприятной характеристикой и, действительно, во многих случаях, например в откосах и в берегах рек, обнаруживают недостаточную устойчивость. За последнее десятилетие юрские глины встречались в практике строительства довольно часто, например при строительстве канала Москва — Волга, при строительстве Московского метрополитена, при постройке мостов и пр.

Многочисленные лабораторные данные по физико-техническим свойствам юрских глин различных строительных сооружений собираются и в настоящее время обрабатываются. Все эти данные, однако, как уже отмечалось выше, не охватывают всего комплекса физических и механических свойств в соответствии с химиче-

ским и минералогическим составом пород. Поэтому нами предприняты работы по проведению полного цикла исследований верхнеюрских глин начиная с минералогического и химического исследования их. В качестве материала для такого исследования послужили образцы пород, взятые специально для Академии Наук при проходке некоторых шахт Московского метрополитена им. Л. М. Кагановича.

Так как работа по изучению физико-технических свойств юрских глин еще не закончена, мы считаем целесообразным дать сначала минералого-петрографическую характеристику некоторых типичных образцов верхнеюрских глин из шахты „Динамо“. Эта часть работы, по просьбе Сектора инженерной геологии, выполнена Н. В. Фроловой в лаборатории осадочных пород Геологического сектора ИГН.

Работа Н. В. Фроловой представляет большой интерес не только для данной темы, но и сама по себе в методической части — определения минералогического состава рыхлых пород по данным химического анализа и минералогического просмотра породы по фракциям, в силу чего мы сочли целесообразным опубликовать ее отдельно и ранее всей остальной работы.

Ф. Саваренский

## ВВЕДЕНИЕ

В целях дать возможно полное описание пород верхней юры Московской области, которое можно было бы сопоставить с данными по изучению их физико-механических и инженерно-геологических свойств, в настоящей работе делается попытка свести все результаты петрографического, минералогического, микропалеонтологического и химического анализов по разрезу пород верхней юры в шахте Метростроя „Динамо“, в Москве.

Опыт такого изучения и сопоставления может показать, насколько сведения о петрографо-химической характеристике пород могут осветить и объяснить их инженерно-геологические свойства.

Породы верхнеюрского возраста были вскрыты шахтой „Динамо“ на абсолютных отметках от 121.67 до 127.84 м. Макроскопически образцы этих верхнеюрских пород далеко не однородны — три образца из нижних горизонтов (абс. отм. 121.67 — 123.67 м) представлены сильно песчанистой ожелезненной глиной, с хорошо заметными железистыми оолитами. Четыре образца из верхних горизонтов представлены обычной темной, местами тонкопесчанистой и слюдистой глиной.

На основании микропалеонтологических исследований, произведенных В. А. Шохиной, изучаемые образцы относятся к трем ярусам верхнеюрских отложений.

Образцы нижних горизонтов (абс. отм. 121.67 м, 122.67 и 123.67 м) относятся к келловее, по следующей руководящей ассоциации фораминифер:

1. *Cristellaria tricarinnella* Reuss (= *Cristellaria polymorpha* Terquem).
2. *Cristellaria megastoma* Zingliand Rübler.
3. *Cristellaria triquetra* Gümbel.

Образцы пород с абсолютных отметок 124.87 и 125.87 м относятся к оксфорду, как обладающие характерной фауной, встречающейся в очень большом количестве особей:

1. *Spiroloculina* ex. gr. *infranolithica* Terquem.
2. *Nubecularia tibia* Parker et Jones.
3. Представители рода *Epistomina*.

Наконец, образцы верхних горизонтов с абсолютных отметок 126.84 и 127.84 м относятся к киммериджу. Они характеризуются полным отсутствием представителей семейства Miliolidae (*Spiroloculina* и *Nubecularia*), наличием незначительного количества *Epistomina mosquensis* Uhlig, *Ep. spinulifera* Reuss, *Ep. reticulata* Reuss и несколько большим количеством *Epistomina stelligera* Reuss.

## 1. Породы келловей

Во всех шлифах породы келловей представлены песчанистой или слабопесчанистой глиной, со значительным преобладанием основного глинистого вещества над песчанообломочным материалом. Глинистое вещество плотное, светлокоричневого или буровато-коричневого цвета, пропитанное мелкими листочками слюды и зернышками рудных минералов (пирита). Обыкновенно оно раскристаллизовано и хорошо действует на поляризованный свет, обнаруживая, при скрещенных николях, тонкоспунный агрегат листовато-волокнистых глинистых минералов.

Структура породы обычно беспорядочно зернистая, и лишь в одном шлифе самого верхнего горизонта пород келловей наблюдается слабо выраженная ориентированная трещиноватость породы, причем трещинки выполнены мельчайшими зернышками рудных минералов.

В основной глинистой массе пород келловей видны беспорядочно распределенные железистые оолиты, правильно овальной или округлой формы, концентрически-скорлуповатого сложения. Они не подвергались отдельным исследованиям, но весьма вероятно, что оолиты эти представлены лептохлоритами, присутствие которых отмечается в литературе для верхнеюрских пород Русской платформы, или обычными водными окислами железа. Размер оолитов колеблется от 0.2 до 1.5 мм; максимальное их количество приурочивается к среднему слою келловей (абс. отм. 122.67 м). В шлифах самого верхнего слоя келловей, кроме железистых оолитов, наблюдаются еще и включения слабоизвестковистых железняков неправильной формы.

В небольшом количестве во всех шлифах пород келловей встречаются обломки гонкозернистого известняка и обломки органических остатков различной степени сохранности. Форма и размеры известковистых включений разнообразны.

Песчанообломочный материал в этих породах обычно обладает неправильно остроугольной формой; размер его зерен колеблется от 0.01 до 0.5 мм, причем с глубиной породы становятся более тонкозернистыми. Песчанообломочный материал представлен кварцем, частично перешедшим в водную окись железа, пиритом и мусковитом.

В породе, залегающей на абсолютной отметке 122.67 м (средняя часть келловей), в шлифах наблюдается значительное количество правильных ромбиков сидерита, размером 0.02—0.04 мм, равномерно распределенных по всей породе. В других шлифах пород келловей сидерит наблюдается лишь изредка, как исключение (фиг. 1, 2, 3).

Минералогический состав песчаной части этих пород определялся для каждого слоя, причем породы предварительно подвергались горячей обработке, с прибавлением  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Дезагрегированная таким образом порода отмучивалась по способу Авдусина и Батурина (1930), с отмыванием всех частиц, размер которых меньше 0.01 мм. Оставшаяся песчаная часть породы (размером более 0.01 мм) на шелковых ситах разделялась на фракции по размеру частиц, а самые мелкие фракции (0.1—0.3 и 0.01—0.1 мм) разделялись еще по удельному весу жидкостью Туле, с удельным весом 3.05, на тяжелую и легкую. Минералогические определения велись для каждой фракции отдельно.

В породах келловей фракции зерен, диаметр которых больше 0.3 мм, минералогически довольно разнообразны. В них часто наблюдаются неправильно угловатые обломки бурого железняка, размером от 0.5 до 4—5 мм; угловатые, реже окатанные обломки железистого песчаника, размером 0.3—3.5 мм; неправильные, частично слабоокатанные обломки тонкозернистого, пористого светлосерого известняка (обломки пород карбона?), размером 0.3—6 мм; часты зерна кварца, неправильно угловатые, слабоокатанные или в виде неправильных агрегатов мельчайших зернышек; размер зерен и агрегатов кварца 0.3—1.5 мм. Наиболее крупные зерна кварца встречаются лишь в самом верхнем слое келловей. Скорлупки и обломки железистых оолитов составляют весьма значительную часть песчаной фракции пород келловей, причем размеры их не превышают 1 мм. Обломки известковых органических остатков различной, иногда очень

хорошей степени сохранности, часто наблюдающиеся здесь, обладают размером 0.3 — 1 мм. Кроме того, в значительно меньшем количестве наблюдаются мелкие (0.3 — 0.5 мм) листочки мусковита, отдельные кристаллы кальцита, неправильно остроугольные обломки темноокрашенных коричневых кремней, известковых, кварцевых и глинисто-слюдистых песчаников. В небольшом количестве встречаются отдельные, неправильно угловатые или округлые сростки пирита и редкие пластинки гипса.

В самом верхнем слое келловей наблюдаются сверх того еще и редкие единичные пластинчатые зерна глауконита.

Фракция 0.1 — 0.3 мм подвергалась разделению жидкостью Туле (уд. вес 3.05) на легкую и тяжелую. Количество тяжелой фракции в самом верхнем и самом нижнем слое келловей одинаково и равно 30% от всей фракции 0.1 — 0.3 мм; в среднем слое келловей количество тяжелых минералов меньше и равно лишь 20%.

В верхнем и нижнем слоях в легкой фракции чаще всего встречаются неправильные обломки различных известковистых раковин, часто наблюдаются слабоокатанные или угловатые зерна кварца, местами слегка ожелезненные, неправильные листочки мусковита и редкие угловатые обломки кремней, окрашенных в темнокоричневый цвет. В самом нижнем слое келловей изредка наблюдаются еще и неправильные пластинчатые кристаллы гипса.

В среднем слое келловей минералогический состав легкой фракции тот же, но обломки раковин играют здесь преобладающую роль, мусковит встречается гораздо реже.

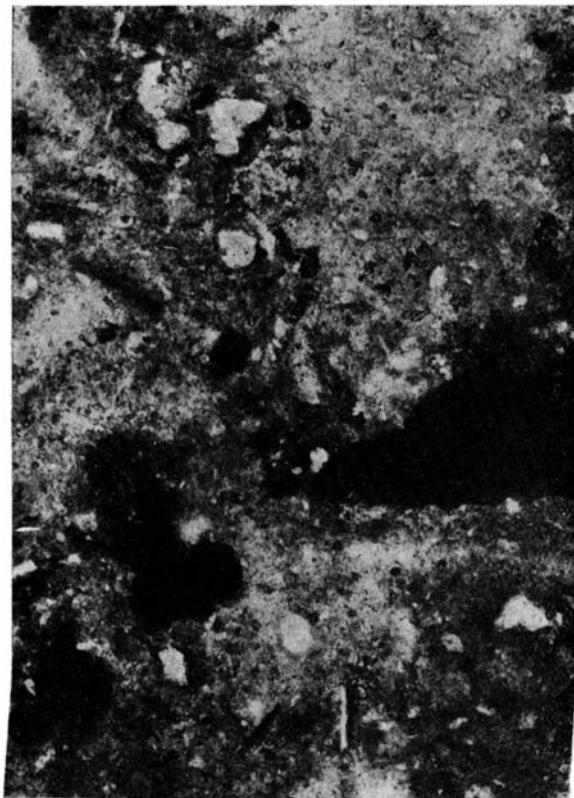
Тяжелая фракция зерен, размером 0.1 — 0.3 мм, несмотря на значительное свое относительное количество, очень однообразна. Во всех слоях келловей, в тяжелых фракциях, преобладают округлые, концентрически скорлуповатые оолитовые образования (лептохлориты или окислы железа). В значительно меньшем количестве наблюдаются неправильно угловатые обломки бурого железняка, по большей части охристого; изредка присутствуют окатанные обломки железистого песчаника и угловатые и слабоокатанные зерна сидерита. В самом верхнем слое, в тяжелой фракции, присутствуют также отдельные единичные угловатые сростки пирита.

Самая мелкая песчаная фракция (размер зерен 0.01 — 0.1 мм) также подвергалась разделению по удельному весу жидкостью Туле, причем относительное содержание тяжелой фракции обратно таковому во фракции 0.1 — 0.3 мм. В нижнем и верхнем слоях келловей в самой мелкой фракции тяжелые минералы составляют 25%, а в среднем количество их составляет 65%.

Легкая фракция представлена во всех слоях келловей неправильно остроугольными, редко слабоокатанными зернами кварца, частично слегка ожелезненного, обломками известковых органических остатков, многочисленными листочками мусковита, пластинками гипса, обломками плотных коричневатых кремней, отдельными округлыми зернами бурого глауконита и редкими, сильно разрушенными пелитизированными зернами полевых шпатов, типа кислых плагиоклазов.

Тяжелая фракция в нижнем слое келловей сложена обломками и скорлупками железистых оолитов, среди которых иногда наблюдаются и целые мельчайшие оолитовые зерна. Кроме того здесь присутствуют также многочисленные неправильно угловатые обломки бурого железняка; в довольно большом количестве видны правильные ромбоэдри, многогранные или слегка округлые кристаллы сидерита. В виде отдельных зерен встречаются мелкие кристаллы и обломки рутила, циркона, дистена. В среднем слое келловей состав тяжелой фракции в общем тот же, но здесь преобладающее значение имеет сидерит (фиг. 4). Кроме всех минералов, присутствующих в нижнем слое, тут наблюдаются еще отдельные угловатые сростки мельчайших кристалликов пирита.

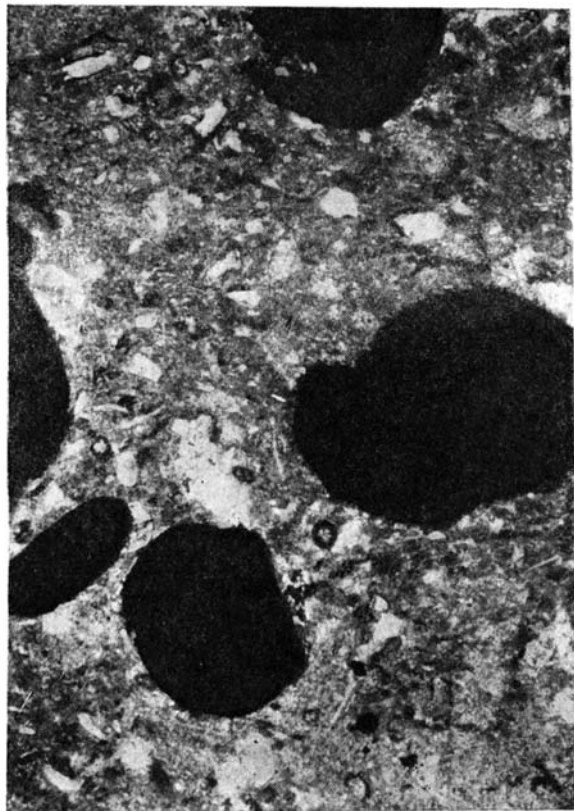
В самом верхнем слое келловей относительное количество сидерита опять резко уменьшается. Минералогический состав тяжелой мелкой фракции верхнего слоя весьма близок к таковому в нижнем слое келловей. Различие лишь в том, что пирит, отсутствующий в нижнем слое, здесь наблюдается довольно часто — чаще, чем в среднем слое.



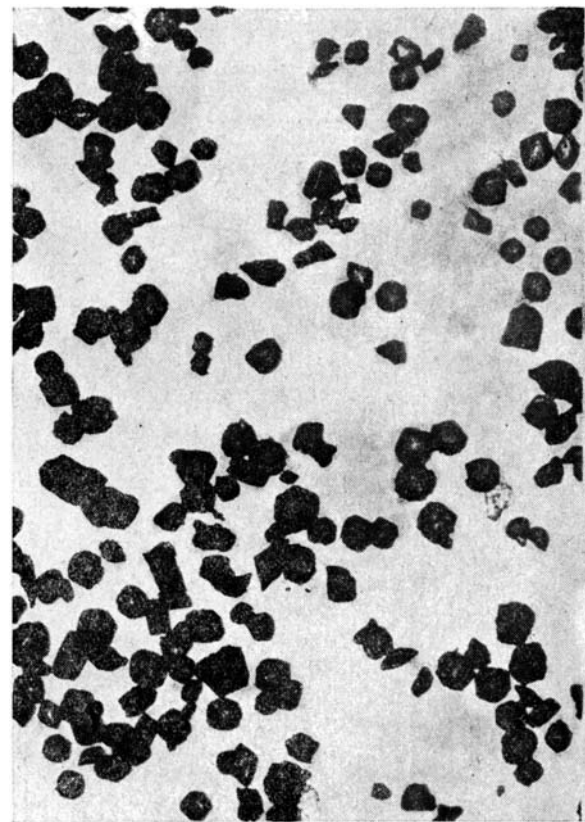
Фиг. 1. Микрофотография нижнего слоя келловей (абс. отм. 121.67 м). В глинистой, основной массе видны обломки бурого железняка, неправильные железистые оолиты, отдельные ромбики сидерита, зерна кварца и другие минералы. Николи ||,  $\times 75$ .



Фиг. 2. Микрофотография среднего слоя келловей (абс. отм. 122.67 м). Округлые железистые оолиты, обломки железистого песчаника и многочисленные ромбоэдри сидерита в основной глинисто-песчаной массе породы. Николи ||,  $\times 75$ .



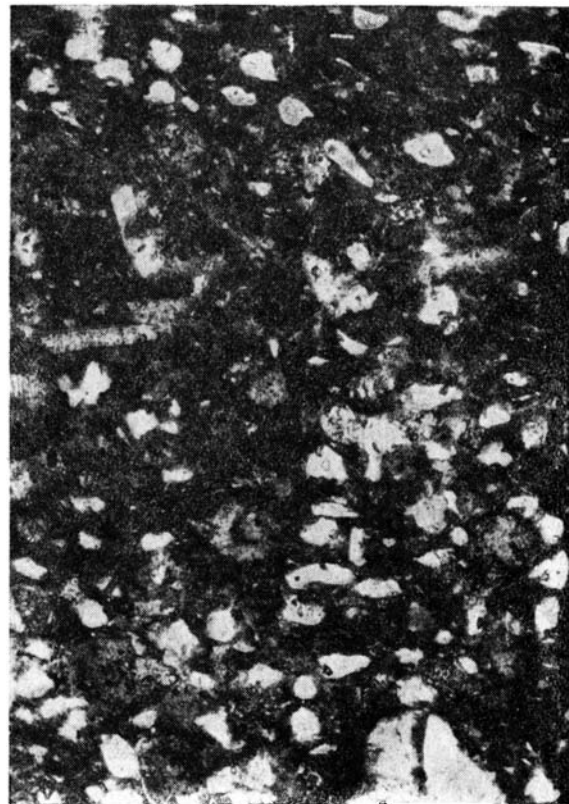
Фиг. 3. Микрофотография верхнего слоя келловей (абс. отм. 123.67 м). Железистые оолиты и отдельные ромбоэдры сидерита в глинисто-песчаной массе породы. Николи ||,  $\times 75$ .



Фиг. 4. Тяжелая мелкая фракция среднего слоя келловей (абс. отм. 122.67 м). Преобладают ромбические и мелкогранные зерна сидерита. Неправильные зерна — обломки бурого железняка и железистых оолитов. Проходящий свет,  $\times 75$ .

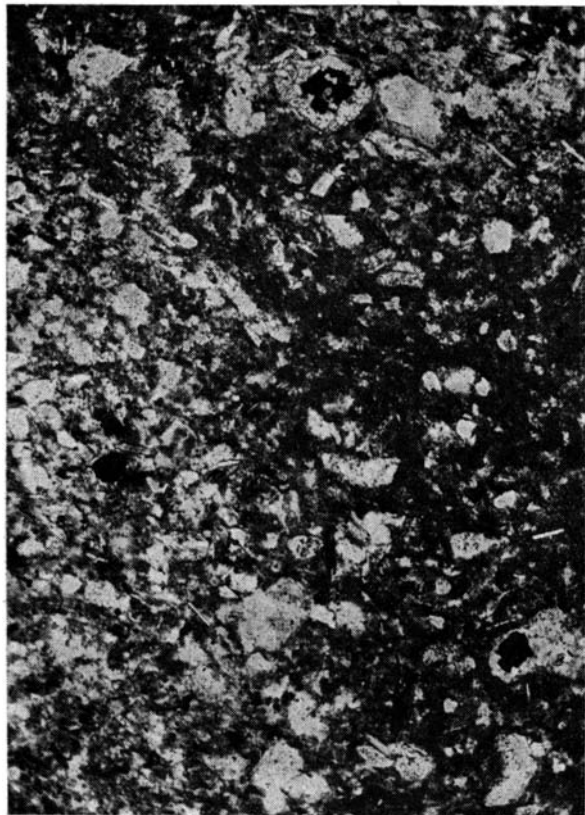


Фиг. 5. Микрофотография нижнего слоя оксфорда (абс. отм. 124.84 м). Многочисленные известковые включения в песчано-глинистой массе породы. Николи ||,  $\times 75$ .

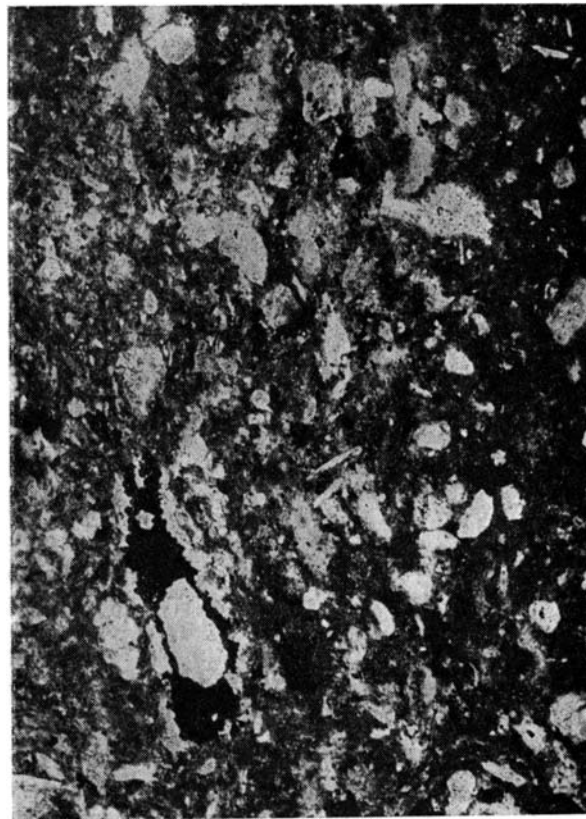


Фиг. 6. Микрофотография верхнего слоя оксфорда (абс. отм. 125.84 м). Известковая глинисто-песчаная порода. Николи ||,  $\times 75$ .





Фиг. 7. Микрофотография нижнего слоя киммериджа (абс. отм. 126.84 м). Известковая глинисто-песчаная порода. Николи ||,  $\times 75$ .



Фиг. 8. Микрофотография верхнего слоя киммериджа (абс. отм. 127.84 м). Известковая глинисто-песчаная порода. Видны сростки вторичного пирита. Николи ||,  $\times 75$

Таким образом, для пород келловей можно отметить, что содержание пирита в них постепенно возрастает с уменьшением глубины залегания; железистые оолиты, их обломки и обломки бурого железняка, примерно, одинаковы в нижнем и верхнем слоях, с некоторым относительным (к общему содержанию тяжелой фракции) уменьшением в среднем слое. Максимальное содержание сидерита приходится на средний слой келловей.

Общей отличительной чертой пород келловей шахты „Динамо“ является присутствие в них железистых оолитов и сидерита.

## 2. Породы оксфорда

Породы двухметровой толщи оксфорда в шлифах представлены тонкопесчанистой известковой глиной, с беспорядочно-зернистой структурой; признаков микрослоистости не наблюдается. Глинистое вещество в породе резко преобладает, окрашено в светлый коричневато-бурый цвет; оно тонко раскристаллизовано, но на поляризованный свет действует слабо. В нем содержится значительное количество известковых и кремнистых включений. Включения обладают разнообразной формой и размерами, колеблющимися от 0.01 до 0.2 мм; весьма вероятно, что известковистые включения частично представлены обломками органических остатков различной степени сохранности.

Кроме включений, известковистое вещество присутствует в породах оксфорда в виде мельчайших частиц, тонко распыленных по всей массе породы (фиг. 5, 6).

Песчаный обломочный материал присутствует в этих породах в значительном количестве, но мелок; размеры зерен колеблются от 0.02 до 0.08 мм. Зерна обладают преимущественно неправильно угловатой формой. Представлен он кварцем, рудными минералами (из которых явно преобладает пирит), мусковитом, кислыми плагиоклазами. Последние встречаются в единичных случаях в виде очень мелких, сильно разрушенных зерен, заметных под микроскопом лишь при большом увеличении.

Минералогические определения производились с теми же предварительными обработками пород, как и для пород келловей.

Наиболее крупная песчаная часть пород, с зернами, размер которых больше 0.3 мм, состоит преимущественно из многочисленных обломков известковых органических остатков, различной, часто очень хорошей степени сохранности. Размер этих обломков известковых раковин весьма разнообразен — от 0.3 до 1.5—2 мм. Кроме обломков раковин в крупной песчаной фракции пород оксфорда встречаются обломки бурого железняка, угловатые обломки кварцевого песчаника, кремнисто-глинистых агрегатов, глинистых известняково-слюдистых песчаников (часто окатанные), окатанные, реже угловатые зерна кварца, неправильные агрегаты мельчайших зернышек кварца, округлые или угловатые сростки пирита, отдельные пластинки гипса и редкие листочки мусковита.

В минералогическом составе крупной фракции различных слоев оксфорда наблюдается довольно резкая разница.

В нижнем слое оксфорда встречаются все из перечисленных минералов и минеральных агрегатов, причем окатанные зерна кварца и пиритовые сростки достигают величины 1 мм. Зерна гипса и мусковита обладают размерами 0.3—0.4 мм.

В верхнем слое оксфорда минералогический состав песчаной фракции значительно менее разнообразен. Кварц присутствует здесь редко, и зерна и агрегаты его не превышают 0.5 мм. Обломки кварцевого песчаника, кремнистых и известково-слюдистых агрегатов, пирит, мусковит и гипс в этой фракции верхнего слоя оксфорда отсутствуют. Изредка в нем, среди обломков раковин и бурых железняков, встречаются отдельные, неправильно угловатые обломки темнокоричневого кремня.

Песчаные частицы, размером 0.1—0.3 мм, подвергались разделению по удельному весу жидкостью Туле. Количество тяжелой фракции составляет 25% по весу от всей фракции в нижнем слое оксфорда и 10% — в верхнем его слое.

Легкая фракция во всем оксфорде почти нацело сложена обломками известковых раковин, среди которых в небольшом количестве, в виде редких зерен, наблюдаются окатанные зерна кварца, неправильно угловатые обломки темно-коричневого кремня и листочки мусковита.

Состав тяжелой фракции также довольно однообразен. И в нижнем и в верхнем слоях оксфорда в основном здесь наблюдаются неправильные обломки бурого железняка и сростки пирита, среди которых встречаются неправильно угловатые обломки и зерна магнетита.

Легкая фракция самых мелких песчаных зерен пород оксфорда (0.01 — 0.1 мм) также одинакова для различных его слоев. В ней резко преобладают известковые раковины и их обломки, кроме которых присутствуют: в значительном количестве мусковит, угловатые, редко слабоокатанные или полуокатанные зерна кварца; в виде редких отдельных зерен — обломки кремня, темные пластинки биотита с хорошо выраженным плеохроизмом, бурые округлые, редко пластинчатые зерна глауконита и разрушенные пелитизированные зерна полевых шпатов ряда кислых плагиоклазов (альбит-олигоклаз, олигоклаз) и микроклина.

Тяжелые минералы составляют 1.5% всей мелкой фракции в нижнем слое и 10% в верхнем слое оксфорда.

И в том и в другом слоях в тяжелой фракции присутствуют пирит — в виде угловатых или округлых сростков, обломки бурого железняка, иногда охристого, отдельные зерна и обломки магнетита, значительное количество зерен рутила и редкие зерна и обломки кристаллов циркона и дистена. Сростки пирита нередко покрыты корочкой бурых водных окислов железа. В нижнем слое, кроме того, наблюдаются еще изредка отдельные многогранные зерна сидерита, отсутствующего в верхнем слое оксфорда; с другой стороны, в верхнем слое видны отдельные пластинки бурого биотита, не встречающиеся в нижнем слое оксфорда.

Исходя из минералогического и микроскопического изучения пород оксфорда нашего разреза, можно сказать, что разница между различными слоями очень невелика и в то же время породы оксфорда минералогически резко отличаются от нижележащих пород келловея.

Отличительной особенностью пород оксфорда является очень большое богатство известковым веществом.

### 3. Породы киммериджа

Породы киммериджа, судя по изучению их шлифов под микроскопом, несколько отличаются друг от друга. Нижний слой в шлифах представлен тонкопесчанистой известковистой глиной. Основное глинистое вещество окрашено в светлый коричневатый-серый цвет; на поляризованный свет оно действует слабо. Известковистые частицы тонко распылены по всей массе породы и, кроме того, образуют многочисленные включения разнообразной формы и величины (частично — обломки органических остатков). В небольшом количестве заметны округлые кремнистые включения. Песчанообломочный материал очень мелок, обладает преимущественно неправильно угловатой формой; представлен он кварцем, рудными минералами (главным образом пирит, небольшая часть которого разложена и перешла в водную окись железа), мусковитом и отдельными зернами глауконита и разрушенных кислых плагиоклазов. Структура породы — беспорядочно зернистая, без признаков микрослоистости (фиг. 7).

В верхнем слое киммериджа порода становится еще более известковистой. Количество рудных минералов, в частности пирита, заметно возрастает. В глинистом веществе породы видны многочисленные округлые кремнистые стяжения, со значительным количеством включений среди них мелких правильных кристалликов пирита. Среди известковистых включений часто наблюдаются мелкие круглые оолиты, концентрического сложения (фиг. 8).

Минералогический состав крупной (больше 0.3 мм) песчаной части пород киммериджа определялся так же, как и для пород оксфорда и келловея. В

виду большого содержания в этих породах пелитообразного известкового вещества, то распределенного в глинистой массе пород равномерно, то образующего стяжения, полной дезагрегации пород в этом случае добиться не удалось, и во всех песчаных фракциях келловей в большем или меньшем количестве присутствуют округлые или неправильно угловатые глинисто-известковые или глинисто-известково-слюдистые агрегаты.

Наиболее значительную часть крупной песчаной фракции пород киммериджа как в нижнем, так и в верхнем слое составляют известковые раковины, их обломки и обломки известковистых стяжений, часть которых обладает округлой формой и, несомненно, содержит значительное количество глинистых примесей. Размер таких стяжений и раковин доходит до 5 мм. Заметную роль играют также округлые сростки пирита, особенно в верхнем слое киммериджа.

В значительно меньшем количестве в этой песчаной фракции наблюдаются: кварц, в виде угловатых или слабоокатанных зерен, размером не больше 1.0 мм; обломки бурого железняка, окатанные обломки железисто-кварцевого и кварцево-глауконитового песчаника (последние два компонента наблюдаются только в нижнем слое киммериджа), неправильно угловатые обломки темного кремня и отдельные пластинки гипса, размером не свыше 0.5 мм.

Зерна, размером 0.1—0.3 мм, разделялись по удельному весу, причем в верхнем слое келловей тяжелые минералы составляют 30% по весу от всей этой фракции, а в нижнем слое лишь 1%.

Легкая фракция зерен диаметром 0.1—0.3 мм одинакова по составу для всего киммериджа шахты „Динамо“. Она состоит из глинисто-известковых и глинисто-кремнистых агрегатов (первые преобладают), известковистыми раковинами и их обломками, редкими угловатыми или слабоокатанными зернами кварца и частыми неправильными пластинками мусковита. В верхнем слое киммериджа, кроме того, наблюдаются еще редкие округлые зерна зеленого глауконита и неправильно угловатые обломки темнокоричневого кремня.

Тяжелая фракция зерен такого размера различна для верхнего и нижнего слоев киммериджа. В нижнем слое она очень мала по весу и представлена неправильными, редко округлыми обломками бурого железняка и отдельными зернышками магнетита. В верхнем слое магнетит отсутствует, бурый железняк встречается редко, а главной составляющей частью тяжелой фракции являются неправильные сростки пирита.

Разделение по удельному весу самых мелких песчаных фракций (0.01—0.1 мм) пород киммериджа показало, что относительные количества тяжелых фракций в них, примерно, одинаковы; в нижнем слое тяжелые минералы составляют 3% по весу от всех мелких зерен, в верхнем слое — 5%.

Легкая фракция мелких зерен одинакова по составу и для верхнего и для нижнего слоев киммериджа. Она сложена главным образом округлыми зернами глинисто-известковых, реже глинисто-кремнистых стяжений и обломками известковистых органических остатков.

В значительно меньшем количестве в легкой фракции присутствуют угловатые зерна кварца, многочисленные неправильные листочки мусковита, пластинки гипса, неправильные зерна сильно пелитизированных полевых шпатов типа микроклина (в очень тонких зернах слабо видна микроклиновая решетка) и кислых плагиоклазов и отдельные редкие округлые зерна бурого глауконита.

Состав тяжелой фракции в мелких зернах пород киммериджа одинаков, но количественные взаимоотношения различных компонентов их несколько различны.

В нижнем слое в состав тяжелой мелкой фракции в примерно одинаковых количествах входят сростки и кристаллики пирита, обломки бурого железняка и также в одинаковых, но меньших количествах — зерна магнетита, лейкоксена, сидерита, отдельные зерна рутила и циркона. Во всей тяжелой фракции найден также один вытянутый шестоватый кристаллик черного турмалина.

В верхнем слое резко преобладает пирит; остальные зерна того же состава, что и в нижнем слое, имеют совершенно подчиненное значение. В частности, сидерит наблюдается лишь в виде нескольких мельчайших зерен.

Следовательно, можно сказать, что породы киммериджа разреза шахты „Динамо“ имеют некоторое, но незначительное различие между собой (несколько большее содержание известковистого вещества и большее содержание пирита в верхнем слое — самое основное их различие); в то же время состав их близок к составу пород оксфорда.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ПО ДАННЫМ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

При изучении разреза верхнеюрских пород по шахте „Динамо“ четыре образца с различных точек разреза подверглись еще более детальному изучению и для них были проделаны полные химические анализы и определения гранулометрического состава по комбинированному методу Сабанина — Робинсона.

Химические анализы производились в Химико-аналитической лаборатории б. Геологического института Академии Наук, под руководством Э. С. Залманзон, а определения гранулометрического состава — в лаборатории физических методов исследования горных пород Геологического сектора Института геологических наук Академии Наук, под руководством М. А. Жиркевич.

При определении гранулометрического состава средние пробы изучаемых пород подвергались предварительной обработке для возможно более полной их дезаггрегации.

Были применены следующие методы обработок: а) простое кипячение; б) горячая нейтральная обработка; в) горячая обработка с  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; г) последовательные обработки 0.2 N соляной кислотой и  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Из всех этих обработок наилучшие результаты в смысле полноты дезаггрегации и минимального разрушения минерального состава породы дала горячая обработка с прибавлением  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Данные по определению гранулометрического состава четырех средних проб верхнеюрских пород приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Гранулометрический состав верхнеюрских пород по шахте „Динамо“

| Данные о залегании образцов                          | Фракции (в %) в пересчете на абсолютно сухую навеску |                |                |                 |                  |            |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------|
|                                                      | > 0.25 мм                                            | 0.25 — 0.05 мм | 0.05 — 0.01 мм | 0.01 — 0.005 мм | 0.005 — 0.001 мм | < 0.001 мм |
| Нижний слой келловея, абс. отм. 121.67 м . . . . .   | 0.43                                                 | 3.62           | 21.26          | 44.73           | 9.42             | 20.54      |
| Средний слой келловея, абс. отм. 122.67 м . . . . .  | 0.11                                                 | 17.72          | 21.95          | 32.52           | 10.24            | 17.46      |
| Нижний слой оксфорда, абс. отм. 124.84 м . . . . .   | 0.09                                                 | 21.82          | 30.59          | 33.51           | 4.07             | 9.92       |
| Нижний слой киммериджа, абс. отм. 126.84 м . . . . . | 0.08                                                 | 21.14          | 25.48          | 31.87           | 10.24            | 11.19      |

Полные химические анализы тех же самых средних проб сведены в табл. 2.

Таким образом, для верхнеюрских пород разреза по шахте „Динамо“ имелся достаточно богатый материал — микропалеонтологические исследования изучения пород в шлифах, минералогические анализы, полные валовые химические анализы и данные гранулометрического состава.

Несмотря на богатство всего этого материала, произвести сравнение его результатов с результатами исследования физико-механических свойств тех же пород затруднительно. Все результаты минералогического, микроскопического и химического анализов необходимо объединить в единое целое, дающее возможно

Таблица 2

## Химические анализы (в %) верхнеюрских пород по шахте „Динамо“

| Данные по залеганию образцов            | Нижний слой келловей, абс. отм. 121.67 м | Средний слой келловей, абс. отм. 122.67 м | Нижний слой оксфорда, абс. отм. 124.84 м | Нижний слой киммериджа, абс. отм. 126.84 м |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| SiO <sub>2</sub> . . . .                | 46.59                                    | 43.02                                     | 38.38                                    | 39.92                                      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .  | 16.79                                    | 14.37                                     | 10.09                                    | 11.95                                      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .  | 10.33                                    | 11.59                                     | 4.10                                     | 5.93                                       |
| FeO . . . . .                           | 1.16                                     | 3.71                                      | 0.99                                     | 1.01                                       |
| MnO . . . . .                           | 0.05                                     | 0.10                                      | 0.02                                     | 0.01                                       |
| CaO . . . . .                           | 3.71                                     | 3.94                                      | 18.01                                    | 12.78                                      |
| MgO . . . . .                           | 2.29                                     | 2.10                                      | 1.47                                     | 1.56                                       |
| Na <sub>2</sub> O . . . . .             | 0.34                                     | 0.28                                      | 0.40                                     | 0.55                                       |
| K <sub>2</sub> O . . . . .              | 3.12                                     | 2.93                                      | 2.08                                     | 2.16                                       |
| Ti(Zr)O <sub>2</sub> . . .              | 1.01                                     | 0.94                                      | 0.70                                     | 0.62                                       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . . | 0.19                                     | 0.28                                      | 0.31                                     | 0.16                                       |
| S . . . . .                             | 1.42                                     | 1.15                                      | 1.51                                     | 2.30                                       |
| SO <sub>3</sub> . . . . .               | 0.26                                     | 0.18                                      | 0.99                                     | 0.97                                       |
| Cl . . . . .                            | следы                                    | следы                                     | следы                                    | следы                                      |
| CO <sub>2</sub> . . . . .               | 3.06                                     | 4.56                                      | 13.00                                    | 8.70                                       |
| H <sub>2</sub> O — . . . .              | 4.17                                     | 4.84                                      | 4.68                                     | 6.68                                       |
| H <sub>2</sub> O + . . . .              | 4.94                                     | 5.84                                      | 3.24                                     | 3.09                                       |
| C . . . . .                             | 1.17                                     | 0.92                                      | 0.96                                     | 2.06                                       |
| —O=S . . . .                            | 0.71                                     | 0.58                                      | 0.76                                     | 1.30                                       |
| Сумма                                   | 99.89                                    | 100.17                                    | 100.17                                   | 99.15                                      |

полную характеристику породы, позволяющую объяснить ее физико-механические свойства или хотя бы изменение их в зависимости от изменения состава породы.

При минералогическом анализе определяются далеко не все минералы, присутствующие в породе, а лишь те из них, размер которых больше 0.01 мм, т. е. определяется лишь минералогический состав песчаной части породы. В данном случае количество песчаной фракции колеблется от 25 до 50% всей породы, и, естественно, минералогический анализ полного представления о породе дать не может.

При изучении осадочных глинистых пород в шлифах мы получаем представление о структуре породы, о ее минералогическом составе (не достаточно точном), о характере ее цемента. Но и изучение шлифов полного представления о свойствах породы не дает.

Используя все разносторонние полученные результаты по изучению верхнеюрских пород шахты „Динамо“, я произвела попытку пересчитать цифры из полных химических анализов на минералогический состав породы.

Методику примененного нами пересчета я приведу на примере пересчета химического анализа образца среднего слоя келловей как одной из наиболее интересной по составу породы. Все остальные анализы пересчитывались совершенно таким же путем.

При пересчете я исходила из предположения, что в каждой осадочной породе, в частности в глинистой, могут присутствовать в сколько-нибудь значительном количестве, отражающемся на химическом составе породы, следующие минералы:

- 1) Кварц и другие модификации кремнекислоты
- 2) Глинистые минералы, т. е. водные алюмосиликаты как не разлагаемые соляной кислотой (типы каолинита), так и легко разлагаемые ею (типа аллофана)
- 3) Калиевые полевые шпаты
- 4) Плаггиоклазы — преимущественно кислые, типа альбита, альбита-олигоклаза, содержащие не более 5% молекулы анортита
- 5) Цоизит — как продукт разрушения более основных плаггиоклазов
- 6) Мусковит
- 7) Кальцит и другие модификации углекислого кальция
- 8) Доломит

- 9) Сидерит
- 10) Магnezит
- 11) Глаукозит
- 12) Орто- и лептохлориты
- 13) Биотит
- 14) Гипс и ангидрит
- 15) Апатит и фосфорит
- 16) Пирит и марказит
- 17) Галит
- 18) Лимонит, магнетит и другие железистые минералы
- 19) Циркон и рутил

В полных химических анализах изучаемых верхнеюрских пород мы имеем цифры содержания 18 компонентов (см. табл. 2). Из этих компонентов я совсем не вводила в пересчет влажность породы ( $H_2O^-$ ) и содержание  $MnO$ , вследствие малого его количества. Хлор во всех анализируемых породах содержится лишь в виде следов и потому также не вводится в пересчет (отсутствие галита или других соединений хлора).

Такие компоненты, как углерод и окись титана и циркона ( $Ti(Zr)O_2$ ), вводятся в результате пересчета без изменения, в виде общей характеристики содержания в породе органического вещества и минералов циркона, рутила и других титансодержащих минералов.

В результате микроскопического и минералогического изучения образца среднего слоя келловей мы знаем, что в нем присутствуют следующие минеральные компоненты: 1) кварц и кремнистые сростки; 2) глинистое вещество; 3) полевые шпаты, по большей части сильно разрушенные; 4) слюда (мусковит); 5) кальцит — в виде обломков известняка, раковин и их обломков и в пелитовом виде; 6) сидерит; 7) гипс; 8) пирит; 9) железистые оолиты, типа бурого железняка или лептохлорита; 10) обломки железистых, кварцевых и известковистых песчаников и 11) ряд тяжелых минералов (циркон, рутил и др.).

Основываясь на этом, я начала пересчет химического состава пород на состав минералогический с вычисления содержания в породе гипса, фосфорита, кальцита, сидерита и пирита, другими словами, с вычисления содержания несиликатной части породы.

Ни апатита ни фосфорита в породе при минералогическом и микроскопическом изучении найдено не было, и весьма вероятно, что количество  $P_2O_5$ , которое было обнаружено при химическом анализе, нужно связывать не в молекулу фосфорита, а в молекулу какого-либо другого минерала, например вивинита. Но в виду того, что во всех изучаемых верхнеюрских породах путем минералогического анализа никаких фосфорсодержащих минералов найдено не было и количество  $P_2O_5$  в анализах невелико ( $0.19—0.31\%$ ), то вряд ли мы сделаем большую ошибку, отнеся содержание  $P_2O_5$  за счет присутствия молекулы апатита — фосфорита.

Итак, пересчет химического анализа начинается с вычисления содержания гипса, т. е. с вычисления количества  $CaSO_4$ , находящегося в породе.

Вычисление производится по соотношениям молекулярных весов  $SO_3$  и  $CaO$ :

|            | Молекулярные веса | Имеющееся количество | Требуемое количество | Количество $CaSO_4$ |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| $SO_3$ . . | 80.06             | 0.18%                | —                    | 0.30%               |
| $CaO$ . .  | 56.08             | —                    | 0.12%                | —                   |

Воду, идущую на молекулу гипса, я опускаю, так как количество её во всех случаях наших верхнеюрских пород ничтожно.

Таким же путем вычисляется количество присутствующей в породе молекулы апатито-фосфорита по формуле  $Ca_3P_2O_8$ , т. е. по количеству  $P_2O_5$  вычисляется потребное количество  $3CaO$ .

Содержание кальцита и других модификаций углекислого кальция определяется по остатку СаО от общего его содержания в породе за вычетом СаО, пошедшего на гипс и фосфорит. В случае пересчета анализа породы среднего слоя келловей мы имеем точное указание на то, что в породе из карбонатов, кроме кальцита, присутствует еще и сидерит. Поэтому весь остаток СаО пересчитывается на СаСО<sub>3</sub> (также по соотношениям молекулярных весов СаО и СО<sub>2</sub>), а остаток СО<sub>2</sub> связывается в сидерит (FeСО<sub>3</sub>). В породах оксфорда и киммериджа не обнаружено сидерита совсем или он присутствует в ничтожно малых количествах, которые не могут влиять на цифры анализа, и потому здесь вся углекислота связывается в молекулу кальцита, а остаток СаО относится за счет силикатной части породы (разрушение основных плагиоклазов).

Соотношение количеств СаО и СО<sub>2</sub> в цифрах анализов наших четырех пород вполне подтверждает это предположение.

По остатку СО<sub>2</sub> от вычисления содержания СаСО<sub>3</sub> в породах келловей мы получаем количество присутствующего сидерита.

По указанным в анализах цифрам содержания серы вычисляется содержание пирита, пользуясь формулой FeS<sub>2</sub> и перечисляя FeO на металлическое железо. Вычисление содержания пирита ведется следующим образом:

|                      | Молекулярные веса | Имеющееся количество | Требуемое количество |
|----------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| S . . . .            | 32.03             | 1.15%                | —                    |
| FeS <sub>2</sub> . . | 119.96            | —                    | 2.15%                |
| Fe . . . .           | 55.84             | —                    | 1.00                 |
| FeO . . .            | 71.84             | —                    | 1.29                 |

Таким образом, пересчет уже дал содержание части минералов, входящих в состав породы (гипса-ангидрита, апатито-фосфорита, модификаций углекислого кальция, сидерита, пирита или марказита, галита, циркона и рутила); при этом получается остаток анализа, характеризующий силикатную, глинисто-песчаную часть породы. Этот остаток выражается следующими компонентами: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO (как остаток от вычисления содержания сидерита и пирита), СаО (как остаток от вычисления содержания гипса, фосфорита, модификаций углекислого кальция), MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O.

Цифры этого остаточного анализа для наших верхнеюрских пород сведены в табл. 3.

Таблица 3

**Часть анализа, характеризующая силикатные компоненты породы**

| Данные по залеганию образцов           | Нижний слой келловей, абс. отм. 121.67 м | Средний слой келловей, абс. отм. 122.67 м | Нижний слой оксфорда, абс. отм. 124.84 м | Нижний слой киммериджа, абс. отм. 126.84 м |
|----------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| SiO <sub>2</sub> . . . .               | 46.59%                                   | 43.02%                                    | 38.38%                                   | 39.92%                                     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . | 16.79                                    | 14.37                                     | 10.09                                    | 11.95                                      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . | 9.10                                     | 11.40                                     | 3.33                                     | 4.20                                       |
| FeO . . . . .                          | —                                        | —                                         | —                                        | —                                          |
| СаО . . . . .                          | —                                        | —                                         | 0.44                                     | 0.86                                       |
| MgO . . . . .                          | 2.29                                     | 2.10                                      | 1.47                                     | 1.56                                       |
| Na <sub>2</sub> O . . . . .            | 0.34                                     | 0.28                                      | 0.40                                     | 0.55                                       |
| K <sub>2</sub> O . . . . .             | 3.12                                     | 2.93                                      | 2.08                                     | 2.16                                       |
| H <sub>2</sub> O+ . . . . .            | 4.94                                     | 5.84                                      | 3.24                                     | 3.09                                       |
| Сумма . . . .                          | 83.17                                    | 79.94                                     | 59.43                                    | 64.29                                      |



Такой состав (по химическим компонентам) соответствует составу обычных глинисто-песчаных пород которые Холмс (Holmes, 1921) называет „хорошими“ глинистыми породами, за тем исключением, что сумма этих компонентов не равна 100<sup>0</sup>%. Развивая и несколько усложняя построения Холмса (Holmes, 1921) и Райса (1932)<sup>1</sup>, мы можем высчитать условный минералогический состав силикатной части породы.

Пересчет этот, так же как и у Холмса и у Райса, основан на соотношении молекулярных количеств химических компонентов и возможных минералов.

Для всех четырех случаев наших пересчетов я называю:

|            |                                       |                                     |
|------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| <i>a</i> — | молекулярное количество кремнекислоты | $\frac{\text{SiO}_2^2}{60}$         |
| <i>b</i> — | „ „ окиси алюминия                    | $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{102}$ |
| <i>c</i> — | „ „ „ железа                          | $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{160}$ |
| <i>d</i> — | „ „ „ закиси железа                   | $\frac{\text{FeO}}{72}$             |
| <i>e</i> — | „ „ „ окиси кальция                   | $\frac{\text{CaO}}{56}$             |
| <i>f</i> — | „ „ „ магнезия                        | $\frac{\text{MgO}}{40}$             |
| <i>g</i> — | „ „ „ натрия                          | $\frac{\text{Na}_2\text{O}}{62}$    |
| <i>h</i> — | „ „ „ калия                           | $\frac{\text{K}_2\text{O}}{94}$     |

Молекулярное количество воды в пересчет не вводится, так как благодаря малому молекулярному весу воды (18) молекулярное количество ее получается очень большим и здесь возможна грубая ошибка.

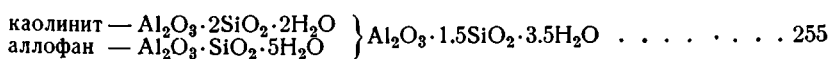
Таким образом, мы имеем восемь известных нам компонентов породы и по ним можем высчитать количество восьми групп наблюдаемых или предполагаемых нами минералов.

К сожалению, количество минералов, которые могут присутствовать в песчано-глинистой части породы (в силикатно-железистой ее части) может быть значительно больше восьми. Поэтому пришлось отдельные предполагаемые минералы, близкие по своему химическому составу, разъединить в группы.

Ниже помещается список всех выбранных мной для пересчета минеральных групп, причем для каждой группы одновременно указывается: а) общее молекулярное количество группы минерала, на которое производится пересчет, — оно пока для нас неизвестно и потому указано в буквенных выражениях, постоянных для пересчета всех четырех анализов; б) формулы минеральных групп, с указанием, из каких формул минералов эта формула группы выведена; в) молекулярные веса каждой группы, — молекулярные веса минеральных групп вычисляются по атомным весам элементов, входящих в сложную формулу у-группы.

Эти минеральные группы следующие: <sup>3</sup>

- 1) *x* — группа кварца и других модификаций кремнекислоты  $\text{SiO}_2$  . . . . . 60
- 2) *y* — группа глинистых минералов в равных количествах:



<sup>1</sup> Здесь я их не привожу, чтобы не усложнять и не удлинять статью.

<sup>2</sup> Молекулярное количество равно количеству в процентах, деленному на молекулярный вес компонента.

<sup>3</sup> Формулы отдельных минералов частично взяты из „Курса минералогии“ (1936); частично составлены по анализам отдельных минералов (глауконита, лептохлоритов), приведенных у Сауеих (1931) и у Розенбуша (1934).



$$f = \frac{2.10}{40} = 52.5$$

$$g = \frac{0.28}{62} = 4.5$$

$$h = \frac{2.93}{94} = 31.2$$

Подставляя эти числа в уравнения, получаем молекулярные количества групп минералов:

$$\begin{aligned} y &= 140.9 - 4.5 - 0 - 62.4 - 10.5 + 0 = 63.5 \\ x &= 716.0 - 95.3 - 27.0 - 0 - 187.2 - 31.5 - 0 = 376.0 \\ z &= 4.5 \\ v &= 0 \\ w &= 31.2 - 0 = 31.2 \\ p &= 21.0 - 0 = 21.0 \\ r &= 0 \\ m &= 67.5 - 0 = 67.5 \end{aligned}$$

Умножая молекулярные количества групп минералов на соответствующие молекулярные веса, получаем количества этих групп в процентах ко всей породе:

|                                                    |       |   |     |   |       |
|----------------------------------------------------|-------|---|-----|---|-------|
| 1) Группа модификаций кремнекислоты . . . . .      | 376.0 | × | 60  | = | 22.56 |
| 2) „ глинистых минералов . . . . .                 | 63.5  | × | 255 | = | 16.19 |
| 3) „ альбита . . . . .                             | 4.5   | × | 524 | = | 2.36  |
| 4) „ цонзита . . . . .                             | 0     | × | 908 | = | 0.00  |
| 5) „ калиевых полевых шпатов и мусковита . . . . . | 31.2  | × | 676 | = | 21.09 |
| 6) „ хлорита-серпентина . . . . .                  | 21.0  | × | 277 | = | 5.82  |
| 7) „ железо-магнезиальных силикатов . . . . .      | 0     | × | 771 | = | 0.00  |
| 8) „ окислов железа . . . . .                      | 7.12  | × | 178 | = | 12.67 |

Суммируя все эти числа, получаем 80.69<sup>0</sup>/<sub>0</sub>; в то же время в сумме химических компонентов силикатной части породы среднего слоя келловей у нас имеется число 79.94<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, т. е. при пересчете мы получили избыток в 0.75<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Такой избыток или недостаток, который может получаться в других случаях, естественен, так как формулы выбранных нами групп минералов условны и неточны. Кроме того, мы не вводили в пересчет воду, и ошибку, конечно, можно относить за счет неточного количества содержания воды в некоторых водных силикатах (глинистые минералы, мусковит, хлориты, окислы железа). Наибольшее количество воды поглощается глинистыми минералами, тем более что различные водные алюмосиликаты различаются именно по содержанию воды и у некоторых из них в формулы входит  $n \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Поэтому мне кажется справедливым исправлять расхождение в суммах минеральных и химических компонентов именно за счет содержания глинистых минералов.

Такой метод пересчета не может, конечно, претендовать на большую точность, — для этого в него введено слишком много условностей. Условны выбранные группы минералов, условны их формулы; калиевые полевые шпаты и мусковит объединены в одну группу и т. д. Но вместе с тем анализы укладываются в эти условные формулы (расхождений больше 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> не бывает), и поскольку все породы по одному разрезу пересчитаны одним методом, мы можем получить характеристику состава этих пород, более подробную, чем это дают другие методы определения этих же пород (химический анализ, минералогический анализ, микроскопическое изучение и т. д.).

Чтобы подчеркнуть условность и неточность такого метода пересчета, отдельные высчитанные группы минералов мы объединяем в еще более широкие группы и называем их группой минерального вещества.

Таким образом, выделяются:

- 1) Вещество модификаций кремнекислоты
- 2) Вещество глинистых минералов
- 3) Полевошпатовое и мусковитовое вещество (группы альбита, цонзита, калиевых полевых шпатов и мусковита)
- 4) Вещество железо-магнезиальных силикатов (группа хлорита-серпентина, лептохлорита-глауконита)

- 5) Вещество водных окислов железа
- 6) Вещество модификаций углекислого кальция
- 7) Сидеритовое вещество
- 8) Гипсо-ангидритовое вещество
- 9) Фосфорито-апатитовое вещество
- 10) Пирито-марказитовое вещество
- 11) Цирконо-рутиловое вещество (по  $Ti(Zr)O_2$ )
- 12) Органическое вещество (по углероду)

Таким объединением уменьшается возможность ошибки пересчета; например, в случае присутствия  $Na_2O$  в калиевых полевых шпатах или в мусковите мы увеличили бы количество альбита за счет других полевых шпатов и т. д.

По моему мнению, также лучше вводить понятие „вещество“, а не минерал, так как мы не знаем точного минералогического состава всей породы, а можем его лишь предполагать.

При окончательном пересчете я предпочитала давать числа лишь с одним знаком, что также указывает на неточность пересчета.

Все пересчитанные анализы верхнеюрских пород шахты „Динамо“, с уже внесенными в них поправками (по воде), сведены в табл. 4.

Таблица 4

**Результаты вычисления минералогического состава верхнеюрских пород шахты „Динамо“**

| Минеральные вещества                               | Нижний слой<br>келловей,<br>абс. отм.<br>121.67 м | Средний слой<br>келловей,<br>абс. отм.<br>122.67 м | Нижний слой<br>оксфорда,<br>абс. отм.<br>124.84 м | Нижний слой<br>киммериджа,<br>абс. отм.<br>126.84 м |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Вещество модификации кремнекислоты . . . . .       | 23.3                                              | 22.6                                               | 22.9                                              | 21.8                                                |
| Вещество глинистых минералов . . . . .             | 18.5                                              | 15.4                                               | 8.7                                               | 10.1                                                |
| Полевошпатово-мусковитовое вещество . . . . .      | 25.3                                              | 23.4                                               | 20.0                                              | 23.5                                                |
| Вещество железо-магnezиальных силикатов . . . . .  | 6.3                                               | 5.8                                                | 4.1                                               | 4.3                                                 |
| Вещество водных окислов железа . . . . .           | 10.1                                              | 12.7                                               | 3.7                                               | 4.6                                                 |
| Вещество модификаций углекислого кальция . . . . . | 5.8                                               | 6.1                                                | 29.5                                              | 19.6                                                |
| Сидеритовое вещество . . . . .                     | 1.1                                               | 4.4                                                | —                                                 | —                                                   |
| Гипсо-ангидритовое вещество . . . . .              | 0.4                                               | 0.3                                                | 1.6                                               | 1.5                                                 |
| Фосфорито-апатитовое вещество . . . . .            | 0.3                                               | 0.6                                                | 0.6                                               | 0.3                                                 |
| Пирито-марказитовое вещество . . . . .             | 2.6                                               | 2.1                                                | 2.7                                               | 4.2                                                 |
| Цирконо-рутиловое вещество . . . . .               | 1.0                                               | 0.9                                                | 0.7                                               | 0.6                                                 |
| Органическое вещество . . . . .                    | 1.2                                               | 0.9                                                | 1.0                                               | 2.0                                                 |
| Сумма . . . . .                                    | 95.7                                              | 95.2                                               | 95.5                                              | 92.5                                                |

Суммы анализов везде сходятся с суммами первичных анализов этих же пород (см. табл. 2), за вычетом из них количества гигроскопической воды ( $H_2O$ ) и  $MnO$ .

В табл. 5 те же самые цифры даны в пересчете на 100%.

По цифрам, полученным в табл. 5, мной составлена диаграмма — график изменения минерального состава верхнеюрских пород по шахте Метростроя „Динамо“.

Как уже выше было сказано, шахтой „Динамо“ была вскрыта семиметровая колша верхнеюрских пород, из которых нижние три метра сложены породами келловей, два средние — породами оксфорда, а два верхние — породами киммериджа.

**Результаты вычисления минерального состава верхнеюрских пород шахты  
„Динамо“ (в пересчете на 100%)**

| Минеральные вещества                               | Нижний слой<br>келловей,<br>абс. отм.<br>121.67 м | Средний слой<br>келловей,<br>абс. отм.<br>122.67 м | Нижний слой<br>оксфорда,<br>абс. отм.<br>124.84 м | Нижний слой<br>киммериджа,<br>абс. отм.<br>126.84 м |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Вещество модификаций кремнекислоты . . . . .       | 24.3%                                             | 23.8%                                              | 24.0%                                             | 23.6%                                               |
| Вещество глинистых минералов . . . . .             | 19.1                                              | 16.2                                               | 9.1                                               | 10.9                                                |
| Полевое шпатово-мусковитовое вещество . . . . .    | 26.4                                              | 24.6                                               | 21.0                                              | 25.4                                                |
| Вещество железо-магнетизальных силикатов . . . . . | 6.6                                               | 6.1                                                | 4.3                                               | 4.7                                                 |
| Вещество водных оксидов железа . . . . .           | 10.6                                              | 13.3                                               | 3.9                                               | 5.0                                                 |
| Вещество модификаций углекислого кальция . . . . . | 6.1                                               | 6.4                                                | 30.9                                              | 21.2                                                |
| Сидеритовое вещество . . . . .                     | 1.2                                               | 4.7                                                | —                                                 | —                                                   |
| Гипсо-ангидритовое вещество . . . . .              | 0.4                                               | 0.3                                                | 1.7                                               | 1.6                                                 |
| Фосфорито-апатитовое вещество . . . . .            | 0.3                                               | 0.6                                                | 0.6                                               | 0.3                                                 |
| Пирито-марказитовое вещество . . . . .             | 2.7                                               | 2.2                                                | 2.8                                               | 4.5                                                 |
| Цирконо-рутиловое вещество . . . . .               | 1.0                                               | 0.9                                                | 0.7                                               | 0.6                                                 |
| Органическое вещество . . . . .                    | 1.3                                               | 0.9                                                | 1.0                                               | 2.2                                                 |
| Сумма . . . . .                                    | 100.0%                                            | 100.0%                                             | 100.0%                                            | 100.0%                                              |

Из всех этих пород химически проанализированы, а следовательно, и пересчитаны, четыре образца — нижний и средний слои келловей, нижний слой оксфорда и нижний слой киммериджа.

Для составления графика по всему разрезу шахты пришлось результаты пересчета отнести и за счет непроанализированных пород. При этом я пользовалась теми сведениями, которые получились из микроскопического и минералогического анализов.

По этим данным верхний слой келловей (анализа которого не имелось) по составу более близок к нижнему слою, чем к среднему, и резко отличается от пород оксфорда. Поэтому в графике для верхнего слоя келловей содержания минеральных компонентов указаны те же, что и для нижнего слоя.

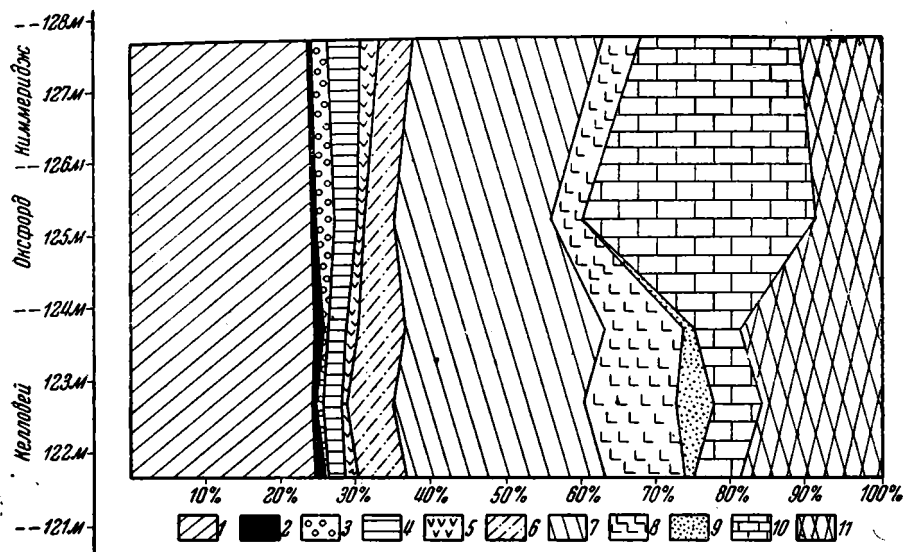
Породы оксфорда близки по составу, так же как и породы киммериджа, и потому результаты пересчета химических анализов даны сразу для всего оксфорда и для всего киммериджа.

Принцип построения графика таков (фиг. 9).

По вертикали нанесены абсолютные отметки залегания образцов, с подразделением слоев по возрасту. На горизонтальных линиях нанесен состав породы, для каждого возраста отдельно. Длина горизонтальных линий соответствует 100% породы. В левой части графика расположены минеральные компоненты, мало изменяющиеся с уменьшением глубины залегания; в правой части графика — сильно изменяющиеся.

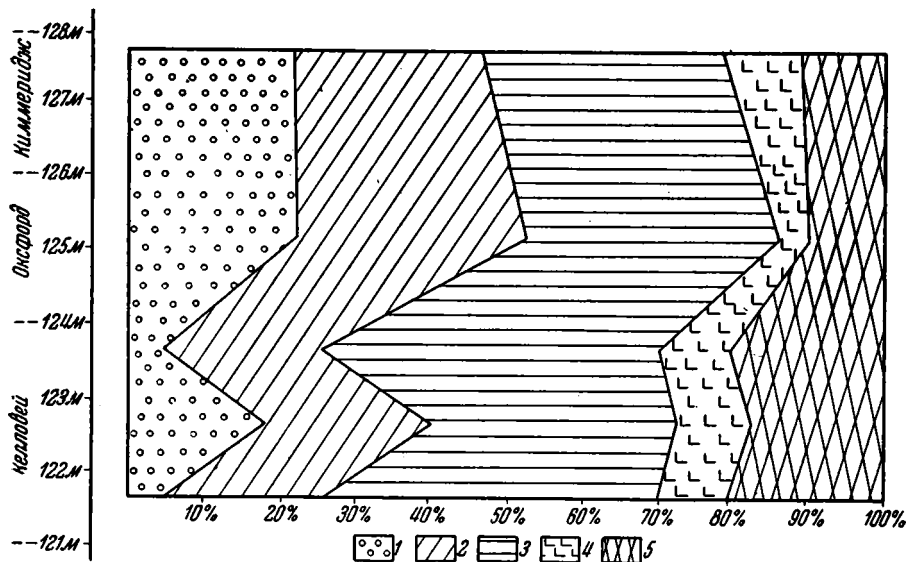
Гипсо-ангидритовое и апатито-фосфоритовое вещества в виду очень малых их количеств (см. табл. 5) на диаграмме объединены в одну группу.

График достаточно ясно показывает, что изменение минералого-петрографических свойств этих пород (а следовательно, возможно, и их физико-механических свойств) в основном происходит за счет изменения содержания в породе веществ водных оксидов железа, сидерита, модификаций углекислого кальция и вещества глинистых минералов.



Фиг. 9. График изменения минерального состава верхнеюрских пород по шахте „Динамо“:

1 — вещество модификаций кремнекислоты; 2 — цирконо-рутиловое вещество; 3 — гипсо-ангидритовое и фосфорис-апатитовое вещество; 4 — пиритово-марказитовое вещество; 5 — органическое вещество; 6 — вещество железо-магнезиальных силикатов; 7 — полевошпатово-мусквитовое вещество; 8 — вещество водных окислов железа; 9 — сидеритовое вещество; 10 — вещество модификаций углекислого кальция; 11 — вещество глинистых минералов.

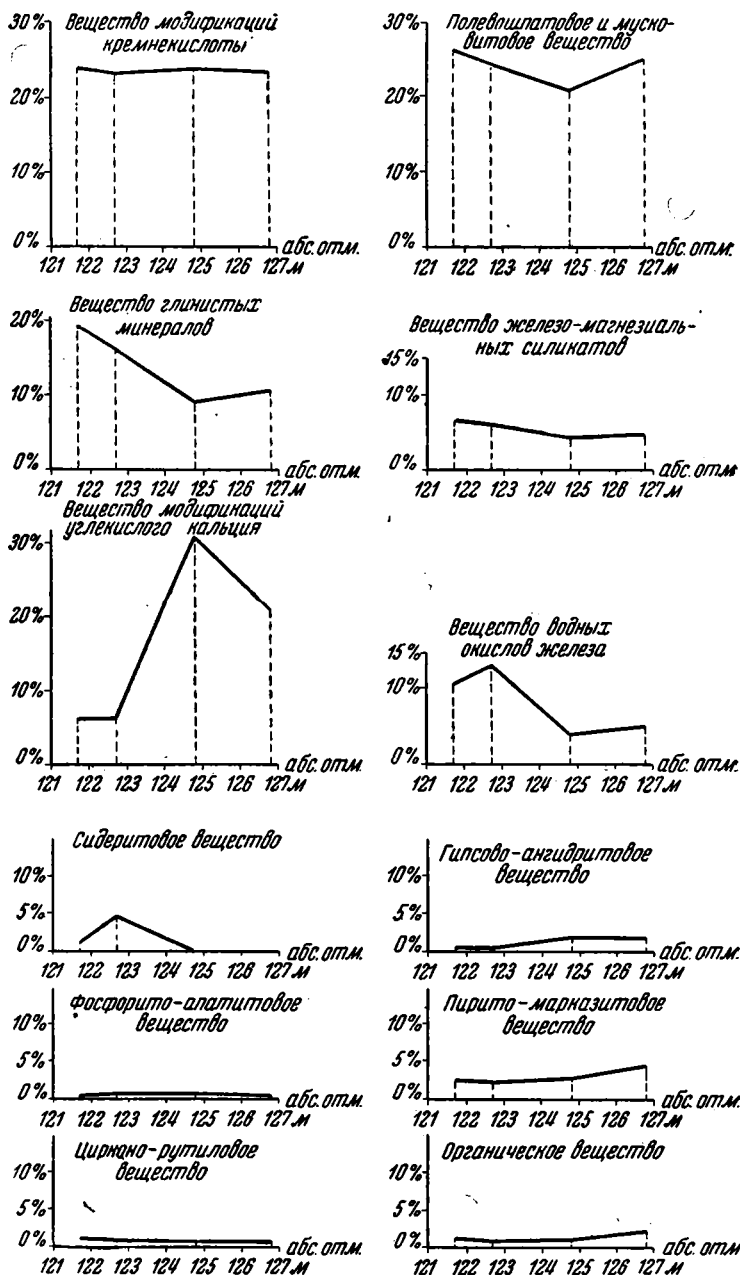


Фиг. 10. График изменения гранулометрического состава верхнеюрских пород по шахте „Динамо“;

фракции (в мм): 1 —  $> 0.05$ ; 2 —  $0.01-0.05$ ; 3 —  $0.005-0.01$ ; 4 —  $0.001-0.005$ , 5 —  $< 0.001$ .

Содержание этих четырех компонентов, как бы ни был условен метод их вычисления, изменяется настолько резко, что все остальные свойства изучаемых пород, несомненно, должны находиться если не в прямой, то в косвенной зависимости от них.

Для иллюстрации этого я привожу здесь еще одну диаграмму — график изменения гранулометрического состава тех же пород. Этот график составлен по тому же принципу, что и график фиг. 9, с той лишь разницей, что вместо содержания различных минеральных групп на горизонтальных линиях отложены



Фиг. 11. Изменение содержания отдельных минеральных компонентов по четырем точкам шахты „Динамо“:

1 — вещество модификаций кремнекислоты; 2 — полевошпатовое и мусковитовое вещество; 3 — вещество глинистых минералов; 4 — вещество железо-магнезиальных силикатов; 5 — вещество модификаций углекислого кальция; 6 — вещество водных окислов железа; 7 — сидеритовое вещество; 8 — гипсово-ангидритовое вещество; 9 — фосфорито-апатитовое вещество; 10 — пирито-марказитовое вещество; 11 — цирконо-рутиловое вещество; 12 — органическое вещество.

цифры содержания различных по крупности зерна фракций. Количественные данные второго графика взяты из табл. 1.

При сравнении этих двух графиков (фиг. 9 и 10) прежде всего бросается в глаза, что фигура, изображающая изменение содержания вещества глинистых минералов (первый график), чрезвычайно напоминает фигуру изменения содер-

жания фракции меньше 0.001 мм (второй график), т. е. изменения содержания той части пород, которую часто называют „глинистой“.

Случайно ли такое подобие этих фигур или оно закономерно и, следовательно, может подтвердить достаточную правильность и возможность пересчета химического состава пород на состав минералогический (хотя бы и условный)?

К сожалению, тонкая фракция (меньше 0.001 мм) для пород шахты „Динамо“ не изучалась при помощи рентгеновского метода. Верхнеюрские породы другой точки г. Москвы, весьма близкие по своему минералогическому составу к породам оксфорда шахты „Динамо“, подверглись изучению по этому методу, и для них известно, что их тонкая глинистая фракция (меньше 0.001 мм) на 85—90% состоит из монтмориллонита. Весьма вероятно, что и в породах разреза шахты „Динамо“ состав тонкой фракции соответствует „веществу глинистых минералов“.

Сравнение графиков изменения минерального и гранулометрического состава показывает также зависимость между содержанием песчаной (больше 0.01 мм) фракции и содержанием вещества модификаций углекислого кальция. В то же время из минералогического анализа верхнеюрских пород известно, что в породах оксфорда (где отмечается наибольшее содержание песчаной фракции) максимальное количество зерен представлено известковистыми органическими остатками и их обломками.

Такое сравнение изменений минерального и гранулометрического состава позволяет допустить, что и другие физико-механические свойства пород можно сравнить с содержанием различных минеральных групп.

Для облегчения такого сопоставления и сравнений я привожу здесь еще один график — изменение минерального состава верхнеюрских пород шахты „Динамо“ по компонентам (фиг. 11).

На этом графике изменение содержания каждой минеральной группы дано отдельно и лишь для тех точек разреза, для которых производился химический анализ образца.

Конечно, нельзя думать, что содержание какого-то одного минерального компонента, да еще столь условного, какой получился в результате пересчета, может изменить физико-механические свойства породы. Несомненно, что на физико-механические свойства породы действует весь комплекс присутствующих в ней минералов, но не исключается возможность, что такой метод может помочь сопоставлениям и выяснениям зависимости между изменениями минерального состава породы и ее инженерно-геологическими свойствами.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Авдусин П. П. и Батурин В. П. Опыт методики исследования механических осадков. Тр. Азерб. нефт. иссл. инст. Баку, 1930.  
Курс минералогии, составл. коллективом авторов. Л., ОНТИ, 1936.  
Райс Г. Глины, их залегание, свойства и применение. Перевод с английского. Л., Госхимтехиздат, 1932.  
Розенбуш Г. Описательная петрография. Перевод с 4-го нем. изд. Л.—М., 1934.  
Cayeux L. Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. Paris, 1931.  
Holmes A. Petrographie methods and calculations. London, 1921.

N. V. FROLOVA

### MINERALOGICAL AND PETROGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF UPPER JURASSIC ROCKS AS STUDIED IN THE „DYNAMO“ SHAFT OF „METROSTROY“ IN MOSCOW

#### Summary

The paper is the first part of a study of the engineering-geological properties of the Upper Jurassic rocks of the Moscow Region. It presents the results of micropaleontological, petrographical, mineralogical and chemical analyses of the



section of Upper Jurassic rocks, studied in the „Dynamo“ shaft in Moscow. On the basis of a petrographical and mineralogical study of the rocks, on one hand, and of their complete chemical analysis, on the other, a recalculation of the chemical composition of the rocks to the mineralogical composition was made by the method proposed by the author. The method is based on the assumption that in the given sedimentary rocks, twenty mineral groups are present in different quantities, a considerable part of which has been directly observed under microscope. The minerals comprising each group are close to each other in chemical composition. The different chemical groups (carbonates, sulphates, etc.) are calculated each separately, according to the molecular quantities of the corresponding acid residues. The greatest difficulties are presented by the calculation of the content of different groups of silicates. In this case the author uses a system of equations where the known are molecular quantities of different oxides; and the unknown, the molecular quantities of mineral groups.

The method of recalculation provides interesting results which may enable us to make a comparison of the change of the engineering-geological properties of these rocks depending on the change of their mineralogical composition.

---

В. ШИРЯМОВ

**К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ  
ВОДОХРАНИЛИЩ**

Вдоль береговых склонов всех созданных за последние годы на территории Союза водохранилищ наблюдаются обширные участки свежеразмытых берегов. Формы таких подмывов чрезвычайно разнообразны и определяются как морфологией береговых склонов, так и составом слагающих эти склоны пород. Например, в широкой долине Верхней Волги, где расположено Московское море, такие подмывы имеют вид болотистых отмелей, протягивающихся на десятки километров вдоль берега. В узкой глубокой впадине Истринского водохранилища наиболее часто прослеживаются высокие осыпи; по лесовым берегам Днепровского водохранилища через каждые 2 — 3 км встречаются невысокие свежеразмытые обрывы, протягивающиеся на 500 — 1000 м.

На всех существующих водохранилищах перерабатываются значительные по протяжению участки береговой полосы. На ряде из них, например по водохранилищам канала Москва — Волга, эта срезаемая переработкой площадь не имеет высокой промышленной ценности, так как водохранилища расположены вдали от крупных промышленных центров. Но на проектирующихся водохранилищах гидроузлов Большой Волги в зону сработки частично попадает ряд крупных промышленных центров и предприятий; поэтому необходимо своевременно оконтурить эту зону, с тем чтобы дать возможность укрепить срезаемые участки или запретить дальнейшее строительство в таких районах.

До сего времени к определению размеров перерабатываемой полосы проектирующие организации подходят весьма схематично, за отсутствием методики определения полосы переработки берега.

В Институте геологических наук с 1937 г. начаты работы по изучению данного вопроса. Результаты первоначальных исследований по изучению форм переработки на существующих водохранилищах канала Москва — Волга изложены в статье В. А. Ширямова (Известия Института геологических наук 1938 г.). В 1938 г. некоторые работы по данной теме проводились на Волге в районе будущего подпора Куйбышевской плотины. Данная статья составлена на основе начальной обработки материалов поездок 1938 г. и ставит своей задачей освещение методики изучения процесса переработки, на основе которой в дальнейшем будет проведено изучение отдельных участков Волжской долины и дан для них прогноз ожидаемой сработки после сооружения плотины.

Прежде чем перейти к изложению предлагаемого метода, остановимся на сущности процесса и факторах, его вызывающих, и, чтобы яснее представить себе процесс переработки, охарактеризуем вначале формирование берегов в условиях естественного режима реки до ее регулирования.

В процессе разработки речного бассейна можно выделить два вида геологической деятельности проточных вод: переработку водораздельных пространств водами, стекающими в долины рек, и непосредственную разработку рекой своей долины.

Переработка водораздельных пространств приводит к их асимметрии и созданию разветвленной эрозионной сети. В процессе формирования долины происходит ее углубление, расширение и создание разнообразных эрозионных и аккумулятивных форм рельефа.

В данном случае нас интересует не общий процесс формирования долины, а лишь более узкий вопрос — разработка береговых склонов реки.

Этот процесс обуславливает наличие двух основных элементов в поперечном профиле долины: берегового обрыва (надводный откос) и пологой площадки бичевника в его основании. В начальной стадии разработки долины происходит интенсивное формирование береговых склонов водами реки; затем, по мере того как у подножья обрывов вырабатывается бичевник, достаточно широкий для того, чтобы на нем гасилась вся энергия разбивающихся волн, устанавливается известное равновесие, и основное влияние на формирование надводных откосов оказывают процессы выветривания. Подобное равновесие, как правило, не длительно. Непостоянство речного режима приводит к изменению факторов, формирующих побережье, и вызывает на различных участках речной долины разработку бичевников и откосов новых форм, соответствующих изменившимся условиям.

В основном процесс переработки рекой береговых склонов — это прежде всего процесс создания бичевников, т. е. разработки пологих участков береговой полосы, периодически смываемых водами и предохраняющих берега от дальнейшего размыва. Поэтому чтобы судить о мощности зоны переработки, необходимо знать ширину бичевников, создаваемых в тех или иных геологических и гидрологических условиях. Одним из таких условий является скорость течения реки.

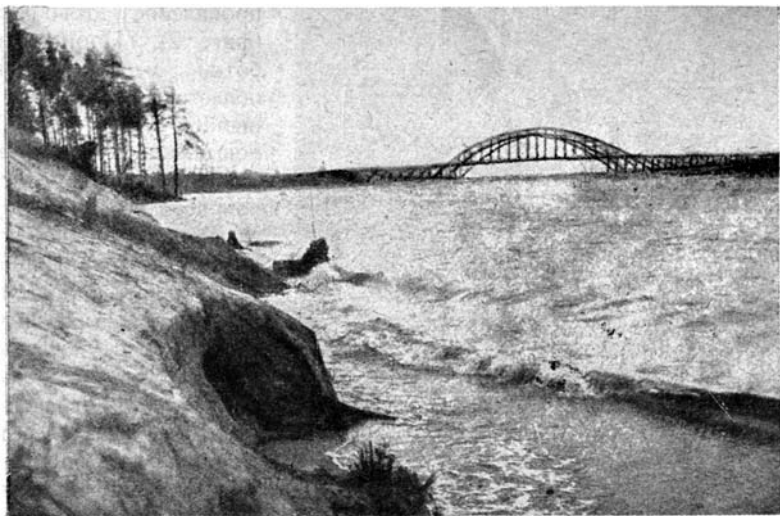
На реках с быстрым, резко меняющимся течением изменчив и разнообразен процесс разработки бичевников. В зависимости от изменения скорости течения, такие реки то срезают уже создавшиеся бичевники и вновь начинают интенсивный подмыв берегов, то отлагают аллювиальные наносы на участках, где незадолго перед этим подмывался отвесно возвышающийся берег. Бичевники в этих условиях чрезвычайно разнородны и на различных участках долины находятся в различных стадиях своего развития. Местами они уже полностью сформированы, тогда как на других участках лишь начинается процесс их разработки.

Ежегодно такие реки меняют очертание своего русла и ежегодно в различных условиях проходит процесс формирования бичевника. На реках с более медленным течением, где его эрозионная способность не так велика, более выдержан и спокоен процесс боковой эрозии. Здесь можно уже выделить формы бичевников, характерные для того или иного комплекса геологических и гидрогеологических условий. Это формы уже сложившиеся, и ежегодные неизбежные изменения скоростей течения лишь в деталях меняют их характер.

Факторами, определяющими угол и форму бичевника, помимо гидрологических, являются геологическое строение берегов и физико-механический состав пород, в которых проходит процесс переработки. Ниже приводятся бичевники, выработанные Волгой в однородной и слоистой толщах. Если в первой вырабатываются бичевники ровных пологих контуров, то для второй характерна ступенчатость бичевников, невыдержанность их углов наклона. В слабо размывающихся породах бичевники более круты, в легко размывающихся — более пологи. Основными факторами являются также и высоты волн, набегающих на берега, разбивающихся о них и создающих на бичевниках обратное течение, формирующее их поверхность (фиг. 1). Ниже, при разборе переработки берегов водохранилищ, мы осветим деятельность волн в процессе формирования берегов более подробно. Основным из гидрологических факторов, определяющим форму переработки, мы считаем режим реки, т. е. длительность стояния уровней воды и амплитуду их колебания. Этот фактор включает все остальные и определяет время их активного действия.

Мы перечислили лишь основные факторы, формирующие бичевники, не упоминая о таких, как форма русла речных долин, характер изрезанности

береговой полосы, состояние склонов и пр. Все эти факторы относятся нами к группе второстепенных, определяющих не причины возникновения подмывов, а лишь время их возникновения и форму. Естественно, что явление, которое подвержено действию таких различных сил, не есть нечто застывшее и раз навсегда установленное. На всем протяжении существования рек непрерывно идет процесс переработки береговых склонов, непрерывно вырабатываются бичевники, причем этот процесс имеет неоднородную интенсивность в различные периоды жизни реки. В зависимости от ориентировки берега и характера изменения скорости течения реки, он наиболее интенсивно проявляется то на одном, то на другом участке долины. Эрозионные процессы сменяются аккумулятивными, создаются отмели, ежегодно меняющие свои очертания, блуждают русла, создаются старицы. Процесс переработки берегов рек не закрепляется пространственно. Вызванный к жизни размывающей энергией сравнительно узкой водяной артерии, он следует изменениям ее энергии — река



Фиг. 1. Обратные течения, возникающие на бичевниках при набегании волн.

непрерывно перерабатывает свою долину, ежегодно меняя контур береговой линии. Известны случаи, когда крупные города приходилось переносить в другие районы вследствие того, что реки то наступали, то вновь отступали от них. Это непостоянство процесса переработки речных долин является основным, характерным его свойством.

При создании водохранилищ в речных долинах повышается уровень водной поверхности, увеличивается ее ширина, создается новый режим, отличный от режима реки до ее подпора. Все это, естественно, сказывается и на процессе переработки речных берегов. Рассмотрим теперь условия, в которых будет протекать процесс переработки, и постараемся оттенить различие этого нового процесса от процесса выработки речной долины. Новый, повышенный относительно прежнего урез воды водохранилищ будет приходиться на различные морфологические элементы речной долины. В низовьях водохранилищ, прилегающих к плотинам, где подпор, т. е. разность прежнего и нового уровней воды, будет наибольшим, новый урез расположился над уровнем современных пойм, проходя у склонов древних террас или коренных берегов долины. Выше по течению с уменьшением величины подпора новый урез будет располагаться все ближе к подножью коренных или древнеаллювиальных склонов и в верховье, в зоне выклинивания подпора, линия нового уреза совпадет с прежней.

Итак, на различных участках водохранилища будут подвергаться переработке различные морфологические элементы долины. В низовьях это будут коренные берега и склоны наиболее высоких террас, а ближе к верховьям — все более пониженные участки коренных берегов и склоны террас более молодого возраста. Все эти элементы рельефа формировались рекой в различные периоды ее жизни, а в новейшее время наиболее деятельное участие в формировании принимали различные физико-геологические процессы. Появление среди этих факторов активно действующего нового горизонта — воды, конечно, должно изменить условия создавшегося ранее равновесия, т. е. неизбежно наступление процесса переработки береговой полосы и выработки нового профиля берега, отвечающего новым условиям равновесия. И, действительно, как уже



Фиг. 2. Подмыв берега на Верхневолжском водохранилище у устья р. Шоши (фото Качугина).

было отмечено выше, на всех существующих водохранилищах сразу же после их создания можно наблюдать проявление этого процесса (фиг. 2). Процесс переработки не ограничивается областью побережья; повышение уровня воды, т. е. повышение базиса эрозии, уменьшает скорости течения во всем бассейне стока, главной артерией которого является водохранилище. Это уменьшение скоростей уменьшает и эродирующую способность всех поверхностных вод, в связи с чем уменьшается рост оврагов и вырабатываются более пологие склоны водораздельных пространств данного бассейна.

Но вернемся к наиболее резко проявляющемуся процессу — переработке береговой полосы. Так же как и на неподпертых реках, этот процесс проявляется в разработке у подножья надводных откосов пологой полосы бичевников, предохраняю-

щих берега от дальнейшего срезания их рекой. Особенно интенсивно этот процесс идет в начальный период существования водохранилищ, когда еще имеет место резкое расхождение между старыми и новыми условиями равновесия береговых откосов. Так, например, в 1937 г. нами на подмосковных водохранилищах уже было зарегистрировано значительное количество подмывов, хотя прошло всего 2—3 месяца со времени их заполнения. В дальнейшем, по мере разработки бичевника, интенсивность процесса уменьшается, в формировании надводных откосов основную роль начинают играть дождевые воды и процессы выветривания.

Высота надводных откосов определяется характером берега и высотой созданного подпора. В тех случаях, когда создается подпор на всю высоту долины, естественные откосы имеют незначительную высоту или совершенно не создаются, и переработка берегов проявляется лишь в образовании отмелей бичевников. Примером может служить низовье Верхневолжского водохранилища, где урез расположился на пологих склонах водораздельных пространств, и наиболее распространенной формой переработки являются повсеместно развившиеся

здесь пологие отмели. В тех случаях, когда создается подпор не на полную высоту долины, над бичевниками остаются участки склонов, образующие надводные откосы. Примером такого заполнения долины может служить Истринское водохранилище, где начиная от самой плотины тянутся высокие 20-метровые надводные осыпи, обычно являющиеся незатопленными участками коренных берегов Истры. Чтобы определить высоту таких откосов и их характер на всем протяжении береговой линии водохранилищ, необходимо сопоставить линию распространения подпора с характером рельефа береговой полосы, учтя сказанное выше о приуроченности уреза к различным морфологическим элементам рельефа. При этом в низовьях водохранилища мы чаще будем встречать высокие надводные откосы, а в верховьях — более низкие, в связи с тем, что в низовьях будут перерабатываться высокие коренные и древнеаллювиальные склоны, а в верховьях — сравнительно низкие склоны современных террас.

Рассмотрим теперь наиболее важные факторы, от которых зависят характер и размеры полосы переработки. Эти факторы можно разбить на три основные группы:

- 1) Гидрологические факторы:
  - а) Скорость течения
  - б) Высота разбивающихся волн
  - в) Режим водохранилища
- 2) Геологические и геоморфологические факторы:
  - а) Условия залегания подмываемых пород
  - б) Физико-механический состав пород
  - в) Степень однородности подмываемых толщ
  - г) Морфология береговых склонов
- 3) Прочие факторы: состояние береговых склонов (залесенность, задернованность), степень изрезанности береговой полосы, метеорологические факторы и пр.

Влияние всех перечисленных факторов на процесс переработки в данное время еще недостаточно изучено. Повидимому, выделенные нами первые две группы их вызывают процесс и в основном определяют его конечные формы, а факторы, перечисленные в третьей группе, обычно влияют лишь на характер развития и скорость процесса.

Поскольку предлагаемый нами метод прогноза переработки пока не учитывает развитие процесса во времени и у нас нет данных для освещения этой стороны явления, то в дальнейшем изложении мы ограничимся обзором только гидрологических и геологических факторов процесса. Как мы видели выше, непостоянство процесса формирования бичевников рек в значительной степени обуславливается характером изменения силы течения реки. При подпоре уровня реки и создании водохранилища уклоны водной поверхности уменьшаются, уменьшается соответственно и скорость течения.

Т а б л и ц а 1

| Пункты                      | Расстояние от плотины (км) | Максимальная поверхностная скорость Волги (в условиях бытового режима 1926 г.) (м/сек) | Скорости в верхнем бьефе Куйбышевского водохранилища (в условиях половодья 1926 г.) (м/сек) |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Красная Глинка . . . .      | 0                          | 2.9                                                                                    | —                                                                                           |
| Моркваши . . . . .          | 55                         | 2.3                                                                                    | —                                                                                           |
| Сенгелей . . . . .          | 150                        | 2.3                                                                                    | 0.35                                                                                        |
| Захарьевский рудник . . . . | 228                        | 2.3                                                                                    | 0.29                                                                                        |
| Кардон Майна . . . . .      | 266                        | 2.3                                                                                    | 0.48                                                                                        |
| Тетюши . . . . .            | 310                        | 2.5                                                                                    | 0.58                                                                                        |
| Камское устье . . . . .     | 377                        | 2.3                                                                                    | 0.28                                                                                        |
| Верхний уклон . . . . .     | 454                        | 2.6                                                                                    | 0.72                                                                                        |
| Вязовые . . . . .           | 480                        | 2.7                                                                                    | 0.63                                                                                        |
| Криуши . . . . .            | 510                        | 2.7                                                                                    | 0.65                                                                                        |
| Чебоксары . . . . .         | 585                        | 2.7                                                                                    | 0.97                                                                                        |

Как видно из прилагаемой табл. 1, на Куйбышевском водохранилище это уменьшение будет особенно резко сказываться на участках, где водохранилище будет более широким (Захарьевский рудник и устье Камы). В таблице приведены данные о максимальных паводковых скоростях; средние меженные скорости на водохранилище будут еще меньше.

В связи с уменьшением скорости течения при подпоре изменится и скоростная эрозия, причем это изменение будет проявляться не только в ее уменьшении, но и в изменении характера ее проявления.

Выше мы уже отметили, что на реках до подпора характерно резкое различие скоростей прибрежных и максимальных, причем, в связи с извилистой формой русла, струи, обладающие максимальной скоростью, иногда подходят к берегам и обуславливают их более интенсивное размывание. Обычно такие участки приурочены к вогнутым частям меандра.

В тех случаях, когда излучины реки подходят к коренным склонам долины, происходит переработка не только поймы, но и коренных склонов.

В таких условиях эродирующая сила течения с наибольшей силой проявляется на отдельных участках долины, вызывая тем самым более интенсивное их разрушение, приводящее к спорадическим пространственным перемещениям береговой линии.

При подпоре скорости течения уменьшаются, не существует столь резкого отличия в скоростях стержня и прибрежных. Эрозия побережная, обусловленная наличием течений, становится минимальной. Отпадает фактор, придававший такую резкую неоднородность процессу переработки на реках до подпора. Процесс переработки берегов водохранилищ, по сравнению с переработкой берегов рек, становится более равномерным.

После прохождения интенсивного процесса начальной переработки, вызванного несоответствием морфологических форм речных склонов новым гидрогеологическим условиям, возникающим при подпоре, дальнейший процесс абразии будет более пространственно закрепленным. В эту стадию процесс вступает к тому моменту, когда повсюду будет выработана береговая платформа (бичевник), на которой будет гаситься эрозонная энергия волн.

Приуроченный к закрепленной полосе процесс переработки будет в силу этого создавать более выдержанные морфологические формы побережья, определяющиеся комплексом физико-геологических и гидрологических условий, в которых происходит их образование.

Большая однородность и постоянство процесса позволяют путем изучения факторов, определяющих его возникновение, и контуров береговой зоны до подпора перейти к составлению прогноза новых форм побережья, которые будут созданы при подпоре. Впрочем, следует отметить, что возможны случаи, когда скоростная эрозия водохранилища не только не уменьшается, но, наоборот, возрастает, а следовательно, не прекращается и блуждание береговой линии. Такой пример приводит А. Качугин, проводивший исследование береговой линии Углинского водохранилища. На некоторых участках этого водохранилища, по данным Качугина, уклоны после подпора в период паводка будут больше, чем существующие паводковые уклоны в данное время. Это объясняется резким сужением водохранилища на данных его участках.

Приведенный случай является исключением из общего правила и не может быть применен для общей характеристики процесса переработки берегов водохранилища.

Итак, скоростная эрозия, т. е. обусловленная течением реки, будет играть на водохранилищах меньшую роль, чем на реках, но резко возрастает роль эрозии волновой, т. е. переработки, вызванной наличием ветровых волн. Этот фактор переработки будет зависеть от силы разбивающихся волн, которая по формуле Хирои (для вертикальной стенки) определяется из  $p = 1.5 h$ , где  $p$  — давление в т/м<sup>2</sup>,  $h$  — высота волны.

Высота волны определяется по формуле Стевенсона:

$$\dot{h} = 0.4 \sqrt{D} + 0.8 - 0.3 \sqrt[4]{D},$$

где  $D$  — длина разгона волны в км, т. е. размывающая способность волн зависит от ширины водной полосы, замеренной в направлении наиболее часто дующих ветров. Следует отметить, что как первая, так и вторая формулы выведены для морских условий и применение их при расчетах на водохранилищах дает несколько преувеличенные данные, но все же подобные расчеты дают представление, хотя бы и схематическое, о порядке величин. Чтобы представить себе, насколько значительны силы, развивающиеся при разбивании волн, приведем подсчет, сделанный нами для участка Куйбышевского водохранилища у г. Ульяновска. В этом районе одинаковую повторяемость имеют ветры З, СЗ и ЮЗ; ширина водной полосы водохранилища, замеренная в этих направлениях, будет соответственно равна 29, 22 и 40 км, а высоты волн, подсчитанные по формуле Стевенсона, — 2.08, 2, 2.82 м. Если принять, что современная ширина русла Волги достигает 1—1.5 км, то после аналогичных расчетов получим  $h=0.9$  м. Таким образом, при сооружении водохранилища величина волновой



Фиг. 3. Интенсивный подмыв правобережья Волги у с. Буртасы. На бичевнике видны обломки пород, переносимые обратными течениями.

эрозии возрастает в 2—3 раза по сравнению с наблюдающейся в данное время. Характер распределения удара волны по поверхности бичевников неизвестен. В литературе, посвященной этим вопросам, приводятся главным образом данные лишь о разбивающихся о вертикальную стенку волнах, тогда как характер работы волны при набегании ее на крутые или пологие берега различен.

При крутых берегах и наличии значительных прибрежных глубин, волны, не изменяя характера, который они имели в открытом водном пространстве, подходят к берегу и, ударяясь о него, образуют всплески или взбросы.

При взбросах водяная масса обладает колоссальным запасом энергии, причем максимум работы волны прилагается к линии уреза, производя здесь наиболее значительные разрушения.

При пологих берегах, в связи с постепенным уменьшением глубины по направлению к берегу, увеличивается трение волны в дно; скорости у дна становятся меньше, чем скорости у гребня; волны увеличивают свою высоту, и на глубинах, примерно соответствующих высоте волны, происходит опрокидывание гребня, и волна „рассыпаясь“ набегае на берег. Это явление может происходить не только у береговой черты, но и перед ней, над более мелкими участками водного бассейна, приводя к образованию так называемых бурунов.

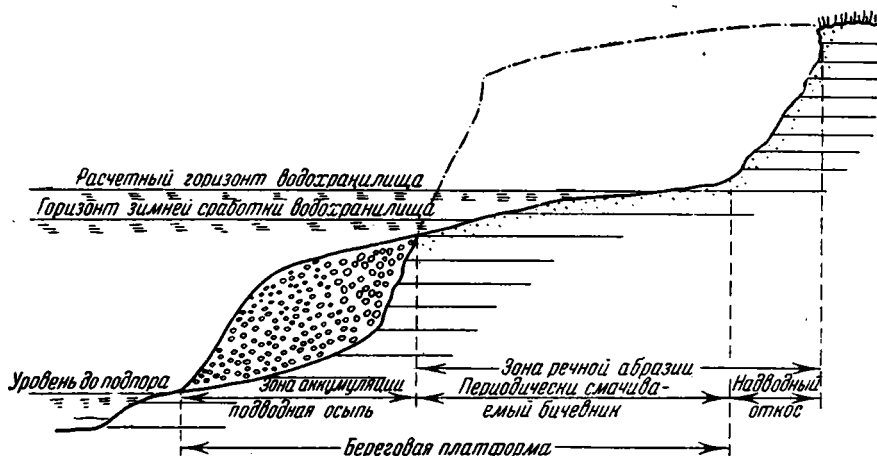


В зонах побережья, расположенных над полосой разбивающихся волн, в промежутках между ударами возникают обратные течения, уничтожающиеся следующей набегающей волной.

Наличие подобных течений и основного движения волн вызывает перекатывание обломков пород в зоне побережья, смачиваемой набегающими волнами (фиг. 3). Этот процесс играет существенную роль в формировании пологих берегов.

В условиях водохранилища возможны проявления обоих видов работы волны. В тех случаях, когда склоны долины круты и подпор обеспечивает наличие значительных прибрежных глубин, набегающие волны будут создавать взбросы, производя интенсивные разрушения вдоль линии уреза. В тех случаях, когда прибрежные глубины будут незначительны, а береговые склоны пологи, будет происходить набегание волны на берег с опрокидыванием гребня и образованием обратных течений.

В связи с тем, что в большинстве случаев склоны долин слагаются сравнительно легко размываемыми осадочными породами, сосредоточенная энергия



Фиг. 4. Схематический поперечный разрез абразионного берега.

всплесков и взбросов поведет к интенсивной разработке пологой площадки — созданию бичевников (или, применяя термин, употребляемый при описании морских побережий, — созданию береговой платформы). Таким образом, основным видом работы волны на водохранилищах будет работа в условиях пологого берега, поскольку береговая платформа будет прослеживаться на всем протяжении береговой линии водохранилища. Характером работы набегающей волны будут в основном определяться динамика и формы процесса переработки побережья.

В начальной стадии процесса переработки работа волны прилагается к сравнительно узкой зоне у подножья берегового обрыва и ведет к созданию в короткие сроки вдоль линии уреза пологой площадки, с каждым годом увеличивающей свою ширину. Береговой обрыв подрезается, постепенно отступает, продукты его разрушения смещаются на создающийся бичевник.

Этот обломочный материал постоянно передвигается вверх и вниз по бичевнику, постепенно истираясь и эродируя его поверхность. Отступление берегового обрыва замедляется к моменту, когда даже самые высокие волны будут расходовать свою энергию, не достигая подножия обрыва.

Рост платформы происходит не только за счет отступления берегового обрыва, но и за счет создания подводной осыпи у нижней границы платформы (фиг. 4). Такая осыпь создается из продуктов размыва в зоне более спокойных вод, где уже почти не сказывается волновое движение.

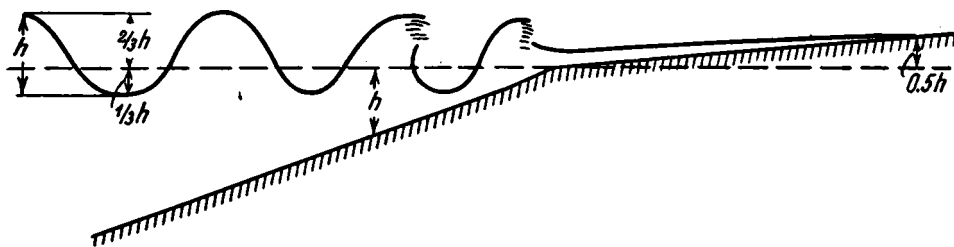
Учитывая сказанное, всю полосу переработки можно подразделить на три зоны, находящиеся под действием различно проявляющихся на каждой из них энергии разбивающейся волны:

1) Подводный откос (осыпь), постоянно находящийся ниже уровня воды в водохранилище на глубинах не меньше высоты волны. Слагают его продукты переработки, поступающие с расположенного над ним бичевника. Над подводной осыпью происходит отмеченное выше увеличение высоты волны, вызванное растущим трением волны о берег.

2) Периодически смачиваемый откос (береговая платформа, бичевник), имеющий более пологий угол наклона, чем подводный откос, и являющийся зоной эрозии. В этой зоне происходит опрокидывание гребня волны, набегание ее на берег и создание обратных течений. Отсюда поступают продукты разрушения, формирующие подводный откос.

3) Надводный откос (береговой обрыв), обладающий более крутыми углами наклона, чем первые две зоны.

В начальной стадии переработки подножье подводного откоса формируется набегающими волнами, а в более поздний, при разработке береговой платформы, основными факторами, определяющими его формы, являются процессы выветривания.



Фиг. 5. Схема удара воды о пологий берег.

В основном эрозионная деятельность волн проявляется в полосе бичевников, и размеры бичевников определяют размеры полосы переработки.

Рассмотрим несколько подробнее условия, в которых протекает формирование полосы бичевника.

Выше мы отметили, что удар волны при пологих берегах распространяется на большую площадь, чем при крутых. Поскольку при этом набегающая волна в значительной степени ослабляется трением о дно, удар ее в условиях пологого берега должен иметь меньшую силу, чем удар волны, имеющий такую же высоту, но разбивающийся о крутой берег. Поэтому наблюдаемый в данное время процесс переработки побережья по созданным за последние годы водохранилищам с особенной интенсивностью проявляется в период, пока еще не выработан уступ бичевника, уменьшающий силу удара разбивающейся волны. Нами сделана попытка оконтурить зону бичевника, на которой будет действовать удар набегающей волны.

При этом мы исходили из следующих соображений. Опрокидывание гребня волны, набегающей на пологий берег, происходит на глубинах, равных ее высоте. Гребень волны при этом располагается выше ординара на  $\frac{2}{3}$  высоты волны, а ложбина — на  $\frac{1}{3}$  ниже ординара (точнее, согласно трахоидальной теории волн, предложенной Герстнером, высота гребня над ординаром равна  $r + \frac{\pi r^2}{L}$  и понижение ложбины  $= r - \frac{\pi r^2}{L}$ , где  $L$  — длина волны, а  $r$  — радиус окружности, образующей трахоиду).

Вследствие сопротивления обратных течений и наличия трения о берег, зона, на которую набегают разбивающаяся волна, будет иметь меньшую высоту, чем высота гребня волны над ординаром. Нами высота этой зоны принята равной половине высоты волны, или 0.75 высоты гребня волны над ординаром (фиг. 5). При подобном допущении, в условиях волжских бичевников, ширина

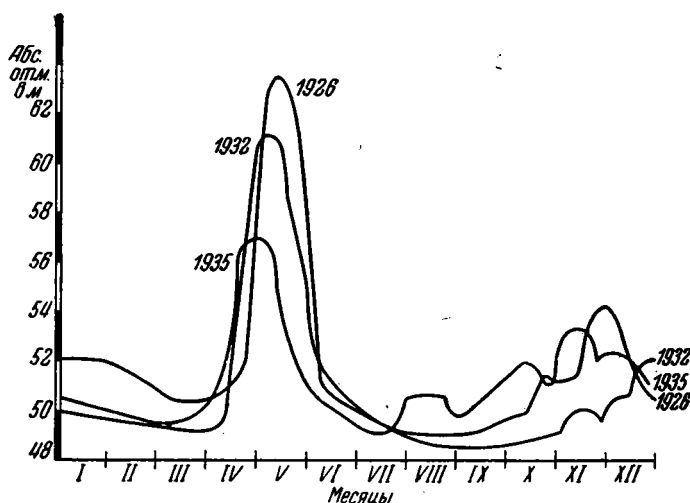
зоны, формируемой меженным уровнем Волги при наиболее сильном волнении, будет равной 3 — 4 м.

Как показали наши наблюдения 1938 г., это вполне соответствует действительности (табл. 2).

Таблица 2

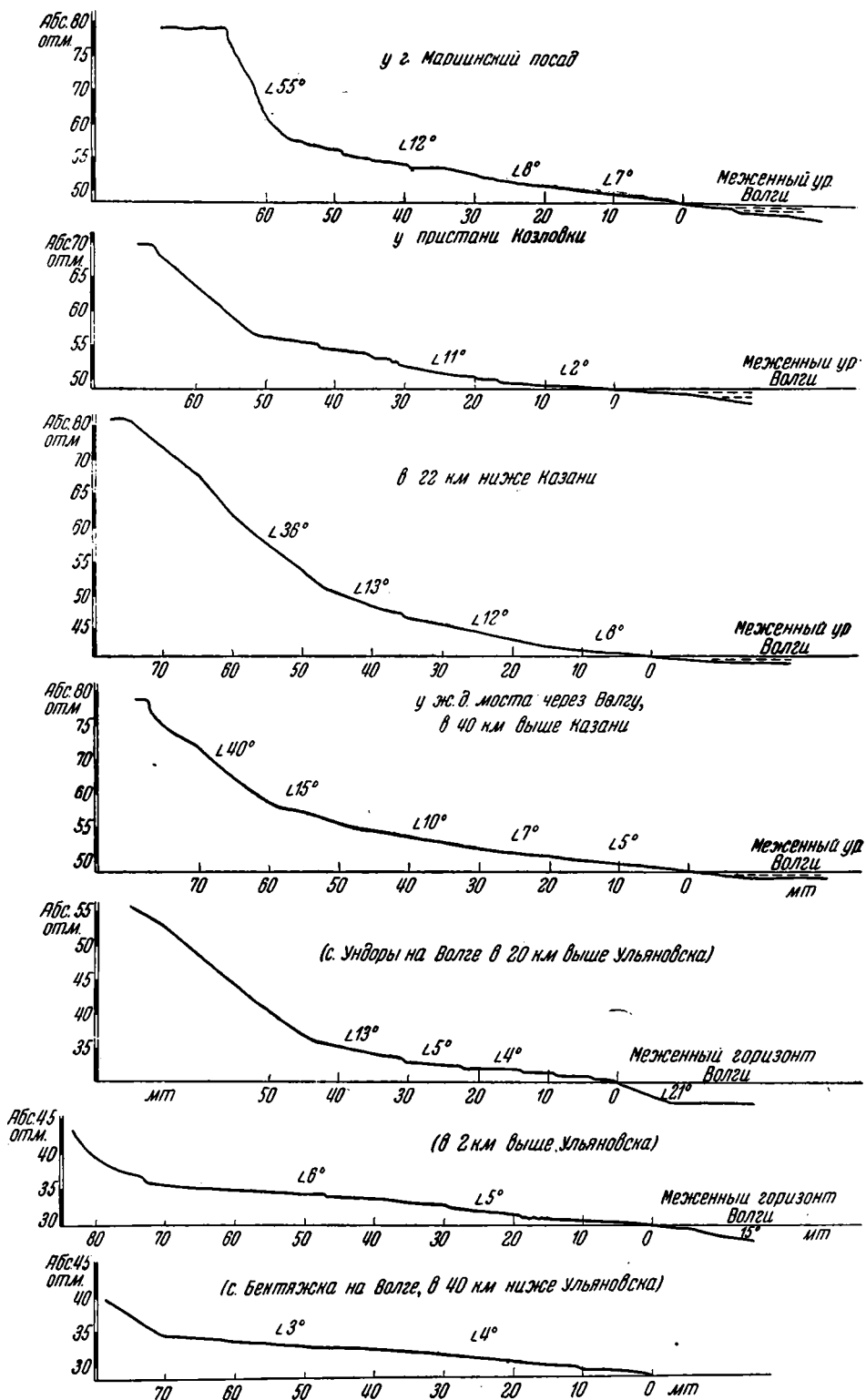
| Пункты замера бичевников по правому берегу Волги | Высота нижней пологой зоны бичевников (в м) |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 2 км выше г. Чебоксар . .                        | 3                                           |
| Гор. Марьянский Посад . .                        | 4                                           |
| Пристань Козловка . . . .                        | 3                                           |
| У жел.-дор. моста, в 40 км выше Казани . . . . . | 4                                           |
| 22 км ниже Казани . . . . .                      | 3                                           |
| С. Ундоры, в 20 км выше .                        |                                             |
| Ульяновска . . . . .                             | 3                                           |
| В 2 км выше Ульяновска .                         | 3                                           |

Чем длительнее работа разбивающихся волн об одни и те же зоны бичевника, тем скорее идет процесс его разработки и тем более пологие уклоны отдельных зон бичевника вырабатываются при этом; поэтому при исследовании форм бичевника необходимо учитывать длительность ежегодного стояния характерных уровней воды. В зависимости от характера режима водохранилища будет изменяться контур вырабатываемых бичевников, причем далеко не всегда формы бичевников водохранилищ будут повторять форму бичевников рек до их подпора, так как режим водохранилищ существенно отличается от режима рек.



Фиг. 6. Режим р. Волги у г. Чебоксары за 1926, 1932 и 1935 гг.

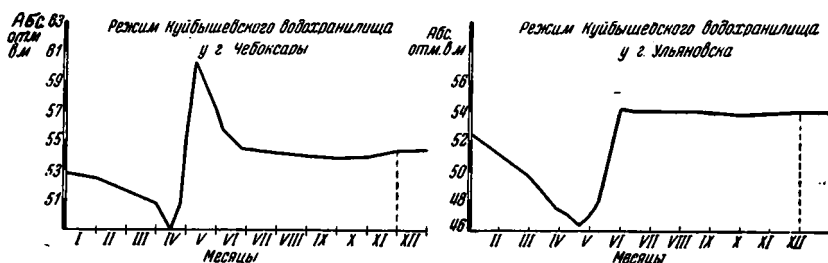
Обычный режим реки представлен на фиг. 6. Здесь можно выделить краткосрочный весенний паводок, менее высокий осенний и период летней межени, когда вода длительное время стоит на одних и тех же отметках. Более длительный период времени урез задерживается на более низких горизонтах бичевника и значительно меньший период времени формирует верхние его горизонты. Поэтому обычно речной бичевник имеет большие углы в своих наиболее высоких зонах и постепенно выполаживается по направлению к руслу реки. Сказанное можно проследить на прилагаемых (фиг. 7) профилях волжских бичевников. Все они (одни больше, другие меньше) полого-выгнутые. На водохранилищах режим будет иметь несколько иной характер. Здесь не всегда выдерживаются пики весенних и осенних паводков. На фиг. 8 и 9 приведены режимы Истринского и Куйбышевского водохранилищ. Режим Истринского



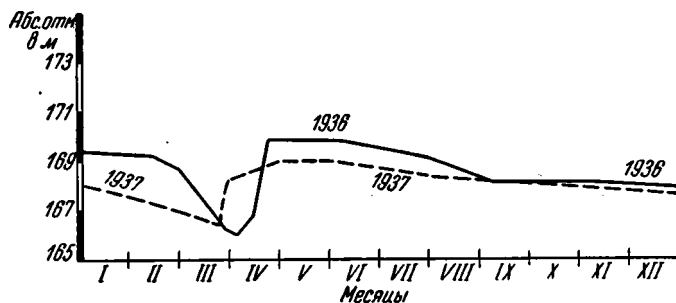
Фиг. 7. Бичевники правого берега р. Волги, выработанные в породах толщ:

I—татарской: 1—у г. Мариинский Посад; 2—у пристани Козловки. II—казанской: 1—в 22 км ниже Казани; 2—у ж.-д. моста через Волгу, в 40 км выше Казани; III—юрской: с. Ундоры на Волге, в 20 км выше Ульяновска; IV—меловой: 1—в 2 км выше Ульяновска; 2—с. Бентяжка на Волге, в 40 км ниже Ульяновска.

водохранилища напоминает обычный режим реки. В течение двух месяцев выдерживается повышенный уровень на отметке 170—171 м, а затем начинается летняя сработка. Осенью уровень водохранилища в течение 2—3 месяцев, мало изменяясь, колеблется в пределах 0.1—0.2 м. Наиболее низкого положения уровень достигает в феврале и марте, перед весенним паводком. Подобный режим характерен для водохранилищ, расположенных в узких глубоких речных долинах, имеющих сравнительно небольшую площадь водного зеркала. В таких условиях даже незначительный расход вызывает заметное понижение уровня воды в верхнем бьефе водохранилища. Характер изменения уровня мало отличается от речного режима, и, естественно, создающиеся при этом формы бичевников аналогичны речным. Иной режим имеют водохранилища с большей площадью водного зеркала, расположенные в широких речных долинах. Характерным примером такого водохранилища является Куйбышевское, режим кото-



Фиг. 8. Режим проектируемого Куйбышевского водохранилища: в верховьях (1) — у г. Чебоксар и в средней части (2) — у г. Ульяновска.



Фиг. 9. Режим Истринского водохранилища.

рого изображен на фиг. 8. В отличие от режима рек здесь длительное время проектный уровень стоит на наиболее высоких отметках, и лишь к зиме он начинает понижаться — в период, когда происходит зимняя сработка водохранилища. Весенним паводком водохранилище в  $\frac{1}{2}$ —1 мес. вновь заполняется до проектной отметки, которая и выдерживается летний и осенний периоды — до ледостава.

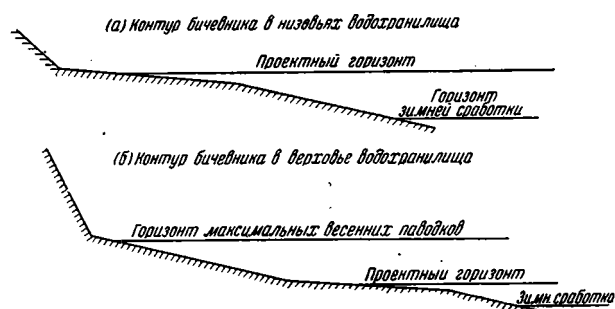
Таким образом, пики весенних и осенних паводков здесь отсутствуют, урез длительно формирует наиболее высокие зоны бичевников и быстро скользит по более низко расположенным зонам. В таких условиях создаются отличные от речных контуров контуры бичевников. Более высокие зоны, примыкающие к коренному берегу, будут иметь более пологие углы, а более низкие зоны, ближе расположенные к реке, формирующиеся только в период весеннего заполнения водохранилища, будут более круты. Общий контур бичевника будет иметь выпуклую форму в отличие от современных бичевников Волги (фиг. 10). Меняется не только форма бичевника, изменяются и его размеры. Ширина бичевника на реках определяется углом наклона и разностью между отметками межени и отметками паводков. Чем больше эта разность отметок, тем шире

бичевник. Для Волги, например, при паводке в 10 — 12 м ширина бичевников колеблется в пределах от 50 до 70 м.

При подпоре уровня рек возможны два случая: а) сработка водохранилищ будет больше, чем колебания уровня реки и б) сработка водохранилища меньше колебания уровня реки до подпора.

В первом случае зона переработки, а следовательно, и ширина бичевников будут заведомо больше ширины речных бичевников; во втором случае возможны отклонения размеров переработки как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения ее по сравнению с существующей до подпора, поскольку при подпоре меняется контур бичевников, и даже при меньшей высоте они иногда вследствие изменившихся гидрологических и геологических условий их образования будут иметь меньшие углы наклона, чем бичевники на реке до подпора ее уровня. Представление о размерах переработки для отдельных участков речной долины можно получить на основе составления профилей прогноза переработки. Ниже мы приводим такие профили для некоторых участков Куйбышевского водохранилища.

Рассмотренный ряд гидрологических факторов определяет общий ход процессов переработки берегов водохранилищ, но конкретное представление о формах бичевников может дать только полный учет геологических особенностей участка, в котором происходит переработка. В зоне действия одних



Фиг. 10. Схемы контуров бичевников для низовья (а) и верховья (б) Куйбышевского водохранилища.

и тех же гидрологических факторов, но на различных по своему геологическому строению участках различными будут характер и формы переработки. В скальных породах процесс разработки бичевника будет происходить чрезвычайно медленно. В более рыхлых осадочных породах он будет более интенсивен, причем будут создаваться бичевники различных форм. В том случае, если породы будут однородны, бичевники примут сглаженные контуры. При подмывах переслаивающихся свит на бичевниках будет наблюдаться характерная ступенчатость, объясняемая различным сопротивлением пород размыву.

Геологические особенности отдельных участков скажутся не только на характере бичевника, но еще в большей степени они будут определять формы надводных береговых обрывов. Например, при простирации, перпендикулярном линии берега, в связи с частой сменой отдельных пород, морфология отдельных участков долины в зоне переработки будет резко различной, тогда как при простирации пород параллельно берегу эти формы будут более однородными. Поэтому при составлении прогноза контуров нового побережья у водохранилищ необходимо проводить геологическое изучение долин рек, сток которых будет регулироваться, и на основе такого обследования выделять основные типы береговых склонов и бичевников, вырабатываемых рекой в различных породах.

При выделении таких типов следует учитывать не только характер пород и условия их залегания, но и характер русел рек, скорости течения, изрезанность береговой полосы и пр. В ряде случаев, вследствие наличия местных

факторов, контуры некоторых бичевников отклоняются от форм, характерных для пород той или иной свиты. Но, несмотря на это, как показали наши исследования, для пород различных геологических свит все же можно выделить типы бичевников с углами наклона, характерными только для данной свиты. Выше мы отметили, что крутизна отдельных зон бичевника определяется длительностью ежегодного периода его формирования водами рек. При одинаковой длительности стояния характерных урезов на реке до и после подпора должны вырабатываться откосы тех же углов наклона, что наблюдаются и в современных бичевниках; поэтому следующей стадией работ при составлении прогнозов является анализ режима реки и водохранилища и составление контуров бичевников и надводных откосов, вырабатываемых при данном режиме в различных геологических условиях. Подобные прогнозы не будут полностью охватывать всего комплекса явлений, происходящих при переработке, если в них не учесть характера аккумуляции продуктов разрушения береговой полосы.

На реках до подпора твердый сток (переносимые наносы) при больших скоростях течения достигает значительных величин. Особенно велик твердый сток в горных реках и реках южной части Союза, протекающих обычно в долинах, сложенных легкоразмываемыми породами типа лессов.

Но и реки средней полосы, обладающие меньшими скоростями течения, транспортируют значительное количество наносов. Так, например, на Волге, по данным ЦНИВМТ, у Барабашиной Поляны (13 км выше Куйбышева) годовой твердый сток равен  $16\,942 \times 10^8 \text{ м}^3$ .

Максимальных величин он достигает в период паводка, распределяясь по сезонам следующим образом:

|                 |            |                |      |
|-----------------|------------|----------------|------|
| Зима . . . . .  | 259 000    | м <sup>3</sup> | 1.5% |
| Весна . . . . . | 14 784 000 |                | 87.3 |
| Лето . . . . .  | 210 000    |                | 7.1  |
| Осень . . . . . | 689 000    |                | 4.1  |

По наблюдениям 1925 г., годовой режим наносов Волги у пос. Ново-Александровского составлял  $1\,034\,100 \text{ м}^3$  при годовом стоке  $102.75 \text{ км}^3$ , что обуславливает среднегодовую мутность воды  $63 \text{ мг/л}$ . Большое количество переносимых Волгой наносов вызывает ежегодное изменение глубин ее русла и обмеление судоходных участков, вынуждающее ежегодно проводить значительные дноуглубительные работы.

При пдпоре рек, вызывающем уменьшение скорости течения, твердый сток должен уменьшаться, но это уменьшение не всегда достигает такого предела, при котором вода уже не может вызвать передвижение наносов. Проф. Саваренский в курсе Инженерной геологии приводит пример водохранилища в Дагестане на р. Ак-су, которое в течение двух лет было целиком занесено крупным обломочным материалом.

При исследовании вопроса о заилинии водохранилищ обычно учитывают только наносы, которые поступают в водохранилище по питающей его речной сети. В этом случае роль геолога ограничивается указанием мест выхода рыхлых пород, могущих служить источником выноса наносов в водохранилище.

При таком подходе забывают о продуктах разрушения, которые поступают в водохранилище в результате разработки новых форм побережья.

Эти наносы будут наиболее велики в водохранилищах с ежегодной значительной сработкой уровня, расположенных в глубоких речных долинах, сложенных рыхлыми породами.

Для водохранилищ, имеющих широкую площадь водного зеркала и сравнительно незначительную ежегодную сработку, объем продуктов разрушения побережья по отношению к объему водохранилища будет незначительным. Так например, если принять среднюю ширину Куйбышевского водохранилища равной 7 км, то при ширине вырабатываемой платформы в 50 м объем наносов, поступающих в водохранилище, будет равным  $2 \text{ км}^3$ . Если распределить этот объем по всей площади водохранилища, то он образует слой мощностью 0.5 м. В действительности, в связи с незначительными скоростями течения, боль-

шая часть продуктов разрушения будет аккумулироваться у побережья, создавая подводные осыпи, и лишь значительно меньшая часть будет перенесена в центральные зоны водохранилища.

Создаваемая в процессе переработки пологая береговая платформа частично будет расположена ниже уровня воды, образуя у побережья область малых глубин. Это обстоятельство следует учитывать при проектировании пристаней, речных портов и других сооружений, требующих наличия у побережья значительных глубин.

При составлении прогнозов новых абразионных форм побережья, создаваемых при подпоре, следует исходить из наблюдений за очертаниями подводных осей и ходом процесса переработки по существующим водохранилищам.

Учет этих наблюдений поможет изучить характер процесса аккумуляции, учесть его количественно, и даст возможность с наибольшей достоверностью оконтурить новые формы подводного рельефа, которые создадутся на проектируемом водохранилище.

Таковы основные этапы работ при составлении прогнозов берегов водохранилищ.

Заканчивая на этом общее освещение характера процесса переработки по берегам водохранилищ, отметим еще раз его основные черты:

1. При создании водохранилищ уменьшается скоростная эрозия в связи с уменьшением уклонов рек, а процесс переработки береговых склонов становится более однородным, более закрепленным пространственно. Прекращается блуждание русла.

2. Возрастает роль волновой эрозии в связи с увеличением высоты волн и увеличением их размывающей силы.

3. Ширина перерабатываемой зоны в основном определяется размерами создающихся бичевников. Формы и размеры бичевников определяются как геологическими особенностями пород района, так и характером деятельности указанных выше гидрологических факторов.

4. Наиболее важным из гидрологических факторов, принимающих участие в процессе переработки, является режим водохранилищ, в частности длительность стояния характерных горизонтов.

В качестве примера приведем прогноз ожидаемой переработки на некоторых участках Куйбышевского водохранилища. Этот прогноз составлен нами на основе соображений о характере процесса переработки берегов водохранилищ, изложенных в первой части настоящей статьи.

На том участке своей долины, где расположится Куйбышевское водохранилище, Волга прорезает различные свиты пород, выходы которых приурочены к высокому („нагорному“) правому берегу.

В верховьях будущего водохранилища от г. Васильурска до пристани Козловки обнажаются пестроцветные породы татарской свиты, представленные фациально изменчивым комплексом глин, мергелей, песчаников и известняков. Ниже по течению от пристани Козловки появляются доломиты, гипсы и известняки казанской свиты, протягивающиеся до села Долгая Поляна. От Долгой Поляны до Тетюшей правый берег вновь сложен породами пестроцветной толщи. Южнее Тетюшей татарские породы постепенно опускаются и над ними в береговых обрывах появляются выходы юрских пород. Юрская толща обычно представлена черными и серыми глинами с прослойками зеленовато-серых глауконитовых песчаников. От с. Ундоры и южнее над опускающимися юрскими глинами появляются меловые породы, которые от с. Поливны в окрестностях Ульяновска целиком слагают правобережье Волги, протягиваясь до Жигулей. В окрестностях Ульяновска мел представлен черными глинами неокома и глауконитовыми песками апта и гольта. Южнее к г. Сенгелею и с. Новодевичьему неоком опускается ниже уровня Волги, и по берегу обнажаются мергеля и глины верхнемеловой толщи, целиком слагающей береговые обрывы от с. Новодевичьего до Жигулей. Южнее, в районе Самарской Луки, где проектируется строительство Куйбышевской плотины, по берегам Волги высаты обрывы известняков и доломитов перми и карбона.



Естественно, что в столь различном по своему составу комплексе пород переработка речных берегов принимает различные формы. В частности, различные контуры и размеры имеют бичевники, создаваемые Волгой в различных свитах пород.

На прилагаемой фиг. 7 изображены бичевники Волги, выработанные на различных участках долины. Для бичевников, выработанных в татарских породах, при общем полого-вогнутом контуре их характерно наличие трех четко выраженных ступеней, имеющих различные углы наклона. Верхняя ступень, располагающаяся у подножья надводного откоса, при ширине 20—25 м имеет угол наклона от 12 до 18°. Наибольшие углы прослеживаются на участках, где к этой ступени приурочены выходы известняков и песчаников (бичевник у г. Марьин Посад) и наименьшие — при выходах мергелей и глин (бичевник у пристани Козловки). Ниже располагается вторая, более пологая ступень с углами от 10 до 12°, имеющая также ширину около 15—20 м. Непосредственно к межженному урезу примыкает третья, наиболее пологая ступень с углами от 4 до 7° и шириной 10—20 м. Ниже меженного горизонта подводные участки бичевников имеют более крутые углы. Общая ширина бичевников при высоте их 10—12 м достигает 55—60 м. Верхние ступени бичевников обычно усеяны крупными, слегка окатанными продуктами размыва пород, обнажающихся в надводных откосах. На третьей ступени эти обломки мельче, более окатаны и залегают в суглинистой массе с большим содержанием кварцевого песка, аналогичного по составу современному аллювию Волги.

Поверхность выделенных зон бичевников различна: на верхних прослеживаются невысокие ступени высотой 0.5—0.2 м, которые протягиваются иногда на несколько километров. В обрывах таких ступеней часто видны выходы песчаников и известняков. Во второй зоне, на ряду с известняками, в таких обрывах прослеживаются мергеля и глины. Обрывы обычно мельче, чем на первой ступени, и располагаются через каждые 2—3 м поверхности зоны. Нижняя пологая зона бичевников обычно не имеет ступеней. Характерно для нее наличие гряд более крупной щебенки; эти гряды в виде волнистых линий, параллельных урезу, протягиваются на значительные расстояния.

Объяснение подобным контурам бичевников легко можно найти при сопоставлении абсолютных отметок выделенных зон с характером режима Волги.

Первая зона располагается на всех исследованных бичевниках между отметками 60 и 54 м. Этим отметкам уровень Волги достигает только в период весенних паводков, продолжающихся 1—1.5 месяца (см. фиг. 6).

Весенний период формирования короток. Урезы быстро скользят по поверхности зоны, не успевая выработать пологих углов, характерных для данных пород.

Расположенная ниже на отметках 54—50 м вторая зона формируется более длительным осенним паводком продолжительностью 1.5—2 месяца. Возможно, частично ее формирует и зимний урез, когда Волга также поднимается до этих отметок, особенно в период ледохода, когда отрывающиеся льдины уносят примерзший к ним грунт или, нагромождаясь у побережий, несколько деформируют их. Во всяком случае эта зона формируется ежегодно в течение более длительного периода, чем первая, и поэтому имеет на всех замеренных бичевниках более пологие углы. Отмеченная выше ступенчатость первых зон также легко объясняется условиями их формирования. В зоне, формируемой весенним паводком, уровень ежедневно изменяется, не задерживаясь на одних и тех же абсолютных отметках. Поэтому наблюдающиеся там ступени обычно обуславливаются только различной сопротивляемостью пород размыву. Обрывы ступеней приурочены к выходам таких сравнительно трудно размываемых пород, как известняки и песчаники. В зоне осенних паводков, где период формирования более длителен и урез не изменяется иногда в течение значительного периода времени, ступенчатость бичевника, прослеживаемая даже в однородных толщах, объясняется различной скоростью скольжения урезов по поверхности зоны. На тех участках, где урез задерживается, вырабатывается более пологая площадка и создается невысокая ступень.

В нижней зоне, расположенной на отметках 48—50 м, период формирования еще более длителен. В течение 4—5 месяцев держатся на этих отметках низкие меженные горизонты Волги, поэтому здесь вырабатываются наиболее пологие углы бичевников. Уровень меженных горизонтов изменяется очень плавно, вследствие чего не создает ступенчатости, характеризующей неравномерные изменения урезов.

Эти же закономерности можно проследить на бичевниках Волги, разработанных в иных породах. Например, в бичевниках казанских пород (фиг. 7) также выделяются три зоны формирования, обладающие здесь, по сравнению с татарскими, более крутыми углами. Зона весенних паводков бичевников казанских пород имеет углы 30—33°, зона осенних паводков — 15—20° и зона межени — 8—11°. В связи с увеличивающейся крутизной отдельных зон бичевника, уменьшается его ширина. Как видно из прилагаемых рисунков, он достигает здесь ширины всего 40—50 м. Подобные изменения объясняются большей сопротивляемостью размыву казанской свиты пород.

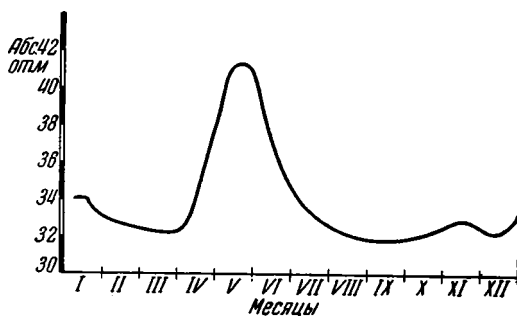
Бичевники в юрских породах (фиг. 7) несколько отличаются от описанных бичевников пермской толщи. Общий полого-вогнутый контур бичевников сохраняется, но выделенные ранее три зоны здесь уже не прослеживаются. На всех юрских бичевниках легко выделяется зона весенних паводков шириной 15—20 м и  $\angle$  13—50°, причем верхняя граница зоны обычно маскируется осыпью надводных откосов. Зоны осенних паводков и меженных горизонтов сливаются в одну пологую зону с углом наклона 4—5° при ширине 30—35 м. Широкое распространение в юрских бичевниках имеет ступенчатость, особенно на более низких горизонтах.

Указанные особенности юрских бичевников также находят свое объяснение в характере режима данного участка долины Волги.

На фиг. 11 приведен режим Волги у г. Ульяновска, в 20 км выше которого Волга подмывает юрские породы. Характерна для этого (в общем типичного для рек) графика незначительная амплитуда колебаний уреза Волги в период осенних паводков и летней межени (всего 1 м). Естественно, что при такой незначительной амплитуде не будет создаваться двух резко различающихся зон бичевников, а они сольются в одну пологую зону, что мы и наблюдаем в действительности (фиг. 7).

Частая ступенчатость юрских бичевников объясняется сравнительно легкой размываемостью юрских глин, в связи с чем неравномерное скольжение урезов по поверхности бичевников оставляет свой след в виде более пологих площадок и возвышающихся над ними уступов в местах, где урез несколько задерживается на одних и тех же абсолютных отметках.

Еще более простой контур имеют бичевники, вырабатываемые в меловых породах. Здесь мы часто не можем выделить даже двух зон. По всей своей ширине от подножья надводных откосов и до меженных горизонтов меловые бичевники имеют однородные углы наклона, колеблющиеся от 3 до 6° (фиг. 7). Ширина их достигает 70—80 м. Верхняя граница бичевников лежит ниже границы весенних паводков, т. е. частично вода формирует и основание надводных откосов, подножье которых следует считать зоной весенних паводков с углом наклона от 20 до 30°. Так же как и в юрских бичевниках, здесь зоны осенних паводков и межени сливаются в одну, а зоны весенних паводков частично маскируются продуктами разрушения надводных откосов. Подобный контур меловых бичевников, повидимому, объясняется тем, что пески и глины апта, подмываемые на этом участке долины реки, обладают меньшей сопро-



Фиг. 11. Режим р. Волги у г. Ульяновска за 1929—1938 гг.

тивляемостью размыву, чем породы, в которых выработаны бичевники, описанные нами выше. Вследствие этого даже в короткий период стояния осенних и весенних уровней Волги здесь успевают выработаться предельные углы, характерные для периодически смачиваемых откосов данных пород, и поэтому более длительное стояние Волги в меженный период не производит дальнейшего выполаживания уже сформированного бичевника.

Итак, на различных участках долины Волги прослеживаются бичевники различных форм и размеров; общие контуры их определяются характером режима реки и литологическим составом подмываемых пород. Этапы активного формирования бичевников, как видно из изложенного, мы увязываем с длительностью стояния характерных урезов, считая при этом, что в различное время года река формирует различные зоны бичевников, а именно те, которые совпадают в данный период времени с существующим урезом. Например, в период паводка формируются только верхние горизонты бичевников, тогда как их подножья, находящиеся весной глубоко под водой, в этот период почти совсем не формируются.

Пределы полосы, формируемой тем или иным урезом, в настоящее время указать невозможно в связи с полной неизученностью вопроса о распределении давлений волн, разбивающихся о пологие берега.

Известно лишь, что с наибольшей силой эти давления будут прилагаться у уреза и постепенно уменьшаться в зоне, расположенной выше и ниже его.

Для наших дальнейших режимов примем условно высоту зоны интенсивной эрозии, равной высоте максимальной ветровой волны, предположив, что урез, формирующий зону, будет приурочен к ее середине.

Поясним это цифровым примером: если у г. Чебоксар меженный уровень Волги равен 49 м, а высота волны, определенная по формуле Стевенсона, около 1 м, то в период межени формируется зона, расположенная между 48.5—49.5 м. Действительно, к этим отметкам приурочена третья, наиболее пологая зона татарских бичевников.

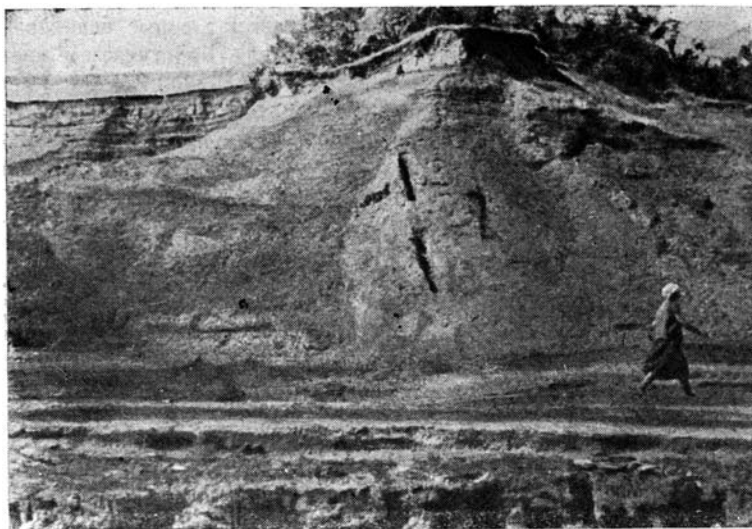
Из сказанного ясно, что при составлении прогноза образования бичевника при подпоре необходимо иметь данные о режиме создаваемых водохранилищ, характером которого в конечном счете будет определяться контур бичевника. Прежде чем перейти к прогнозу форм бичевников, которые будут созданы на Куйбышевском водохранилище, несколько уточним характеристику режима Волги при подпоре. Упомянутое выше отсутствие пика весенних паводков, превышающих проектный горизонт, характерно только для средней части и низовья Куйбышевского водохранилища. В верховьях его, у г. Чебоксар, как видно из фиг. 8, уже прослеживается пик весеннего паводка, значительно превышающий проектную отметку водохранилища. Общий характер режима верховья водохранилища сильно напоминает режим Волги до подпора с той лишь разницей, что на водохранилище отсутствуют пики осенних паводков.

Такое изменение режима вполне закономерно, так как в этом районе подпор достигает всего 4—5 м и ширина водохранилища незначительно превышает ширину русла современной Волги. Поэтому увеличение весеннего стока вызывает значительное повышение уровня воды.

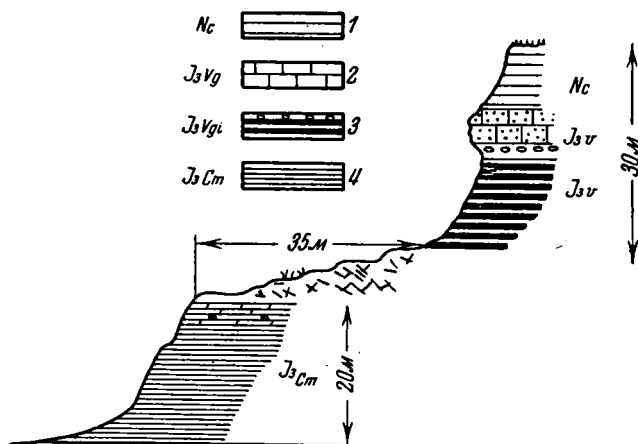
Различный режим в верховьях и низовьях водохранилища поведет к созданию бичевников различной формы. В верховьях будут созданы бичевники пологого контура (см. фиг. 10), напоминающие современные бичевники Волги. Верхние зоны их будут иметь сравнительно крутые углы, так как формироваться они будут только при весенних горизонтах. Поскольку длительность паводков не изменится при подпоре, то, естественно, не изменится и крутизна зон, формируемых Волгой в весенний период, т. е. для верхних зон бичевников водохранилища в его верховьях углы наклона бичевников будут достигать 13—22°. Характер зон, расположенных ниже, несколько изменится, так как пик осенних паводков не будет достаточно четко прослеживаться; поэтому зоны, формируемые в настоящее время осенними паводками и меженью, при подпоре сольются в одну пологую и широкую зону меженных горизонтов, а бичевник примет контуры, изображенные на фиг. 10.

В низовьях и средней части водохранилища, где пик весеннего паводка не будет превышать проектного уровня, бичевники будут иметь уже описанный нами выше полого-выпуклый контур.

Различный контур бичевников будет определять и различные размеры переработки. Поэтому в качестве примера прогноза размеров будущей переработки



Фиг. 12. Береговой обрыв у с. Ундоры. В обрыве обнажены серые юрские глины. На переднем плане видны легкие ступени, характерные для бичевников, выработанных в юрских породах.



Фиг. 13. Разрез правого берега у с. Ундоры:

1 — черные глины; 2 — глауконитовый песчаник с фосфоритами; 3 — битуминозные сланцы и сланцеватые глины; 4 — серые глины с пропластками мергеля.

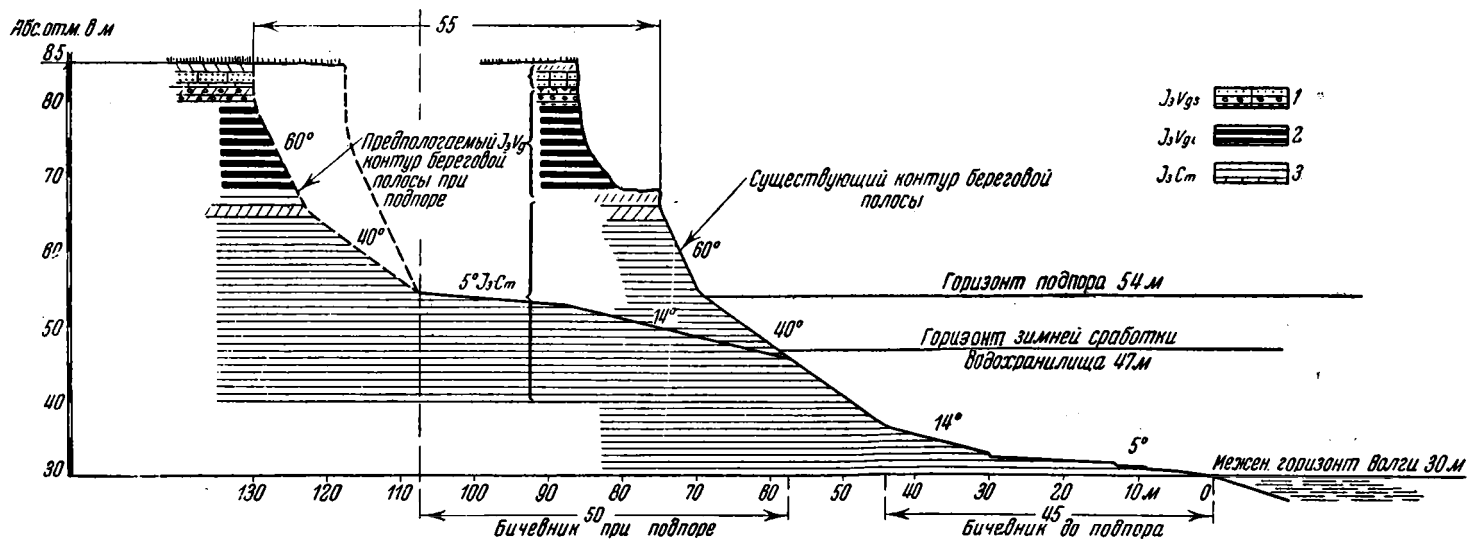
мы приводим два участка, один из которых расположен в верховьях водохранилища, у г. Марьинский Посад, в 30 км ниже г. Чебоксар, и второй — в средней части водохранилища, в 20 км выше г. Ульяновска у с. Ундоры.

Для суждения о размерах и формах переработки в районе Ульяновска составлен поперечный профиль данного участка долины Волги, для чего использован исследованный нами поперечник у с. Ундоры (фиг. 12). На этом участке Волга энергично подмывает высокий правый берег, образуя прекрасные обна-

жения. Берег обрывается к Волге двумя уступами, разделенными террасой шириной 50 — 100 м (фиг. 13). Поверхность этой террасы осложнена многочисленными оползнями. В береговых обнажениях выходят свиты меловых и юрских пород. Верхний обрыв над террасой слагают черные глины неокома и зеленовато-серые глауконитовые песчаники верхневолжского яруса юры с прослойками фосфоритов, подстилаемые темнокоричневыми битуминозными сланцами и темносерыми глинами того же яруса. В нижнем уступе залегают серые сланцеватые глины киммериджа, с прослойками слабого серого мергеля, подстилаемые светлосерыми глинами с пропластками мергеля и фосфоритов. Нижний уступ имеет высоту 30 м, подножье его подмывается при весенних паводках, но следы подмыва маскируются продуктами выветривания. Как видно из прилагаемого профиля (фиг. 14), в верхней своей части нижний уступ имеет угол  $60^\circ$ , средний —  $40^\circ$ , а в основании, которое может быть названо, по нашей терминологии, первой зоной бичевника, или зоной весенних паводков, угол равен  $14^\circ$ . Бичевник, примыкающий к подножью уступа, является типичным двухступенчатым юрским бичевником и достигает ширины 40—45 м. Нижняя его зона имеет угол  $5^\circ$  и располагается в пределах отметок 30—31 м, что соответствует (фиг. 14 и 6) отметкам межени и осенних паводков на этом участке долины. Верхняя ступень располагается в пределах 31—33 м. Верхняя граница этой ступени, как мы уже отметили, маскируется осыпью надводного склона.

Проектная отметка верхнего бьефа водохранилища 54 м. В период зимней сработки уровень воды в нем будет понижаться до 47 м (см. фиг. 8) и в период весеннего паводка вновь подниматься до отметки 54 м. Следовательно, новый бичевник будет вырабатываться в интервале отметок 47—54 м в пределах нижнего уступа современного берега, т. е. разработка нового бичевника будет приурочена к тем же по литологическому составу породам, какие слагают современный речной бичевник. Длительность прохождения весеннего паводка и стояние меженных урезов на водохранилище и на реке (как видно из фиг. 8 и 11) будут одинаковы, т. е. важнейшие факторы, от которых зависит форма бичевника, не изменятся, а следовательно, не изменится и крутизна углов наклона поверхности бичевника, и на водохранилище будут выработаны бичевники, слагающиеся из двух зон  $5^\circ$  и  $14^\circ$ . Но расположение этих зон будет иным: зона  $5^\circ$  расположится на верхних горизонтах нового бичевника, так как она будет вырабатываться длительно стоящим проектным уровнем, а зона  $14^\circ$  будет располагаться ниже ее, так как она будет формироваться только в короткий период весеннего заполнения водохранилища, а в период стояния расчетного горизонта будет находиться на глубине, превышающей глубину распространения ударов разбивающихся волн. Бичевник примет характерную пологовыпуклую форму. В том, что произойдет интенсивное выполаживание только зоны, формируемой нормальным проектным горизонтом, а расположенная ниже зона весенних паводков будет иметь более крутой угол, нас убеждают замеры подводных откосов современных бичевников Волги. Такие откосы, расположенные глубже меженных горизонтов (см. фиг. 7), имеют значительно большие углы, чем зоны бичевников, формирующиеся меженными горизонтами. Это видно и на прилагаемом профиле у с. Ундор, где участок подводного откоса, прилегающий к бичевнику, имеет угол  $21^\circ$  при угле наклона нижней части бичевника  $5^\circ$ .

Основание нового бичевника расположится на глубине, до которой будет доходить действие разбивающихся волн при наиболее низких горизонтах стояния уровня. Наиболее низким уровнем, как видно из графика режима, будет уровень 47 м, ширина водохранилища на этом участке будет достигать 29 км (по направлению наиболее часто дующих здесь западных ветров). Максимальная высота создаваемой ветровой волны (определенная по формуле Стевенсона), а следовательно, и глубина распространения давлений разбивающихся волн, будет равна 2 м. Принимая высоту зоны формирования, равной высоте волны, можно предположить, что основание бичевника, формируемого в этих условиях, будет располагаться на 1 м глубже самого низкого уровня воды в водохранилище, т. е. будет иметь отметку 42 м.



Фиг. 14. Профиль прогноза переработки правого берега р. Волги у с. Ундоры при подпоре Куйбышевской плотинной:

1 — глауконитовый песчаник с прослойками фосфоритов; 2 — битуминозные сланцы и сланцеватые глины; 3 — серые глины с прослойками мергеля.

Аналогичным рассуждением приходим к выводу, что основание верхней пологой зоны, формируемой расчетным уровнем водохранилища, будет расположено на отметке 53 м, а верхняя бровка бичевника — на отметке 55 м.

На основании этих данных построены контуры нового бичевника (см. фиг. 10). Примем для упрощения, что формы надводного откоса будут теми же, что и наблюдающиеся в данное время до подпора. Тогда в нашем случае можно принять для глин киммериджа угол откоса равный  $40^\circ$  и считать, что такой угол они сохраняют до второго пропластка мергелей, залегающего на отметке 65—67 м, выше которого угол будет достигать  $60^\circ$  по аналогии с углом, наблюдающимся теперь в вершине нижнего уступа. Толща верхневолжских песчаников и сланцев, очевидно, сохранит прежний, близкий к отвесному, обрыв. Все эти рассуждения не предусматривают осложняющего влияния оползней.

При подобном допущении общая ширина зоны сработки у с. Ундор будет равной 55 м (см. фиг. 14). В районе, где нами составлен второй профиль прогноза (фиг. 15), по правому берегу Волги обнажается пестроцветная толща татарских пород перми, представленная фациально изменчивым комплексом глин, мергелей, известняков и песчаников (фиг. 16). Характерный для этого района профиль берегового склона изображен на фиг. 17. Верхняя часть склона, сложенная здесь преимущественно глинами и мергелями, имеет угол  $40\text{—}45^\circ$ , средняя у выхода известняка —  $55^\circ$  и в нижней, формируемой паводками многоводных лет, угол уменьшается до  $35\text{—}40^\circ$ . Примыкающий к склону широкий бичевник имеет уже описанный нами выше полого-вогнутый контур, и на нем, как и на всех исследованных татарских бичевниках, можно выделить три зоны, формируемые в различные периоды года.

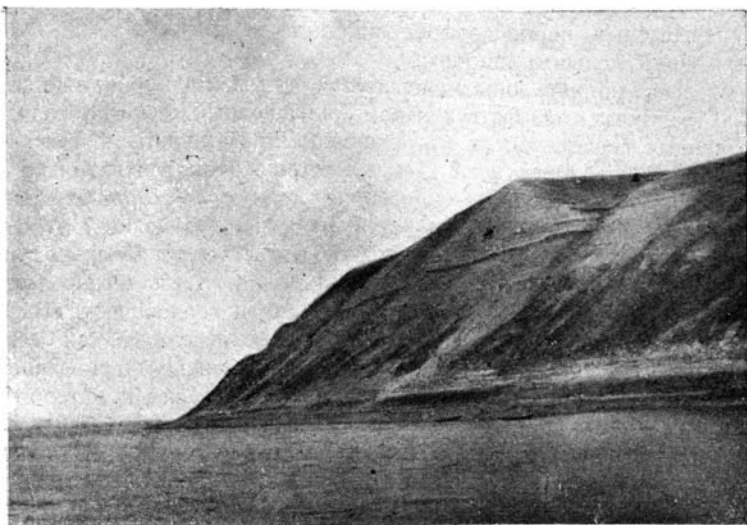
Режим, который будет создан на этом участке водохранилища, где подпор почти выклинивается, мало отличается от современного режима Волги. Пик весеннего паводка будет иметь ту же длительность, что имеет и сейчас, и всего на 3 м будет превышать горизонт средних весенних паводков, наблюдающихся на Волге в данное время. Существенным отличием будет только наличие устойчивых горизонтов межени на более высоких абсолютных отметках и отсутствие пика осенних паводков (фиг. 8).

В этих условиях будет формироваться описанный нами выше характерный для верховья вогнутый бичевник с пологой зоной в средней части.

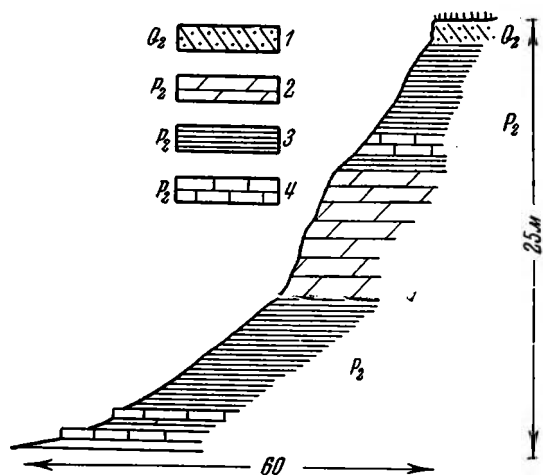
Рассуждая так же, как и при составлении прогноза переработки юрского массива у с. Ундоры, мы составляем профиль сработки (фиг. 17). Существенное отличие этого профиля от ранее составленного заключается в том, что вновь создаваемый бичевник водохранилища здесь частично располагается на прежнем бичевнике реки и только первая его зона, формируемая весенними паводками, выходит за пределы расположения современного бичевника. Такое расположение бичевника уменьшает ширину полосы сработки современного коренного берега до 18 м и делает процесс переработки более длительным, поскольку проектный горизонт водохранилища располагается ниже верхней бровки современного бичевника, т. е. наиболее длительно стоящие летние горизонты не будут участвовать в процессе сработки коренного склона.

Нами приводятся только два профиля сработки береговой зоны, но, чтобы полностью оконтурить эту зону на всем протяжении водохранилища, необходимо составить такие профили для всего комплекса подмываемых пород. На основании таких опорных профилей можно будет картировать зону переработки. При этом следует учесть, что своих наибольших размеров зона переработки будет достигать на среднем и нижнем участках водохранилища, а в верховье, где новые бичевники будут располагаться полностью или частично в пределах прежних речных бичевников, мощность этой зоны будет постепенно уменьшаться (фиг. 18).

В областях максимального развития переработки ширина ее не будет постоянной и будет зависеть от состава подмываемых пород. В легко размываемых породах, где создадутся наиболее пологие, а следовательно, и наиболее широкие бичевники, мощность этой зоны будет наибольшей, а на участках подмыва

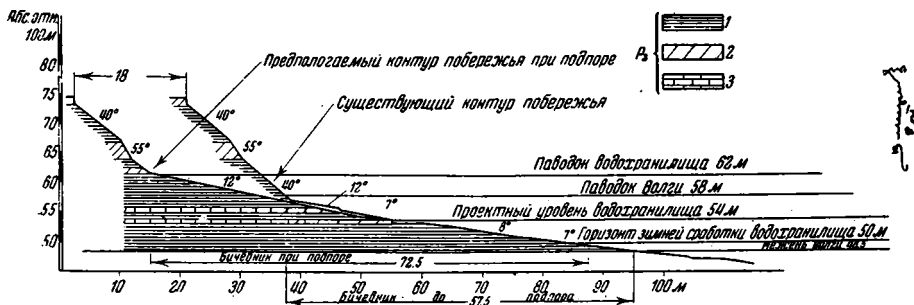


Фиг. 15. Береговой обрыв у г. Марьинский Посад. В обрыве обнажены пестроцветные породы татарской свиты.



Фиг. 16. Разрез правого берега р. Волги у г.  
Марьинский Посад:

1—покровный суглинок; 2 — серый песчанистый рыхлый мергель; 3 — красные и зеленые мергелистые глины, 4 — известняки.



Фиг. 17. Профиль прогноза переработки правого берега р. Волги у г. Марьинский Посад при подпоре Куйбышевской плотиной:

1—красные и зеленые мергелистые глины; 2—серый песчанистый мергель; 3—известняки.



трудно размываемых пород — менее широкой в связи с тем, что вырабатываются бичевники меньшей ширины.

Окончательная ширина зоны определяется не только шириной бичевников, — на размерах ее будет сказываться характер надводных откосов, создание которых в различных геологических условиях примет различные формы.

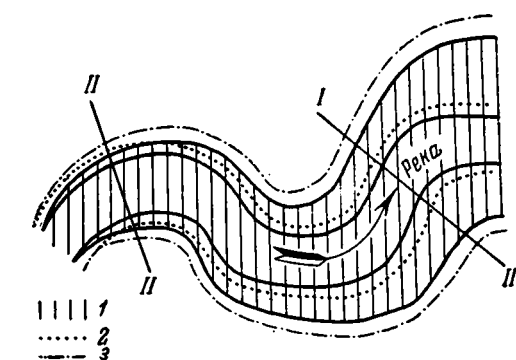
Примененный метод прогноза дает возможность выделить только конечную мощность зоны переработки, не позволяя судить о скорости хода данного процесса, но скорость процесса является функцией, зависящей от очень большого количества факторов, и поэтому должна изучаться регионально для конкретных условий на отдельных участках речных долин. Здесь можно только отметить, что на скорость, помимо характера режима и геологических особенностей пород, будут оказывать влияние самые различные факторы, как то: характер береговых склонов, формы береговой полосы, степень задернованности и залесенности берега, наличие оползней, ряд гидрологических и метеорологических факторов и пр. Поэтому, после того как указанным методом будет охввачена конечная зона переработки, необходимо на отдельных участках, особенно там,

где в зонах сработки попадают районы промышленно ценной площади, проводить соответствующие исследования по выявлению скорости процесса и уточнению его конечных форм.

Итак, процесс переработки берегов водохранилищ может быть подразделен по характеру формирования на два:

а) процесс разработки бичевников, вызванный колебанием уровня воды в водохранилище; этот процесс определяет ширину полностью срезаемой береговой полосы (зона активной сработки);

б) процесс разработки надводных откосов, вызванный изменением



Фиг. 18. Схема контура зоны переработки по побережью водохранилища:

1 — контур водохранилища; 2 — контур переработки до подпора; 3 — контур переработки при подпоре.

шимися условиями равновесия их и являющийся следствием процесса создания бичевника; режим водохранилищ только косвенно определяет его, изменяя условия устойчивости откосов.

Наиболее эффективным методом прогноза первого процесса мы считаем изучение современных бичевников в долинах рек, выделение основных типов и сопоставление их с новым режимом, устанавливающимся при подпоре, определяющем новые формы бичевников. Такой метод позволяет дать прогноз ширины зоны активной сработки в конечной ее стадии, когда новые формы береговой полосы будут уже полностью выработаны.

В начальной стадии исследования процесса переработки нами для упрощения принято, что конечные контуры новых береговых откосов будут иметь те же формы, что и в данное время. Но в действительности этот процесс будет проходить гораздо сложнее. Уменьшение высоты откосов, изменение гидрогеологических условий, вызванное подпором, в ряде случаев поведет к созданию откосов совершенно иных форм, чем наблюдающиеся в данное время. Обычно вдоль береговой полосы рек мы наблюдаем интенсивное развитие оползневых процессов, делающих не пригодными для промышленного использования обширные участки речных побережий. Характерным примером в этом отношении является долина Волги, где оползневые процессы по высокому правому ее берегу развиваются чрезвычайно интенсивно. Подпор и формирование новых береговых склонов, конечно, отразятся на ходе оползневых процессов, но дать прогноз их направления можно только при детальном изучении отдельных оползневых участков.

При составлении прогнозов оползневых берегов необходимо учитывать зону активной сработки, поскольку ее расположение и размеры определяют новые

условия равновесия надводных откосов. Поэтому в начальный период исследований основное внимание мы уделили изучению процесса формирования бичевников как основному и наиболее широко проявляющемуся. В дальнейшем, наряду с изучением бичевников, необходимо проводить изучение форм надводных откосов. Основным методом при этом должно быть исследование условий устойчивости природных откосов, выявление факторов, определяющих их формирование, и составление профилей прогноза, позволяющих оконтурить зону переработки по берегам водохранилищ.

**V. SHIRYAMOV**

## **ON THE METHODS OF STUDYING THE REWORKING OF THE BANK SLOPES OF WATER-RESERVOIRS SUMMARY**

### **S u m m a r y**

The paper deals with the changes in the nature of the physico-geological processes when a head of the level of rivers is produced. The principles of the methods of investigation and making a prognosis of the new outlines of the banks are given. Examples are cited of the prognosis for two areas on the right bank of the Volga valley in the region of development of the head of the projected Kuibyshev water-reservoir.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Н. Ф. Фролова. Минералого-петрографическая характеристика разреза верхнеюрских пород по шахте Метростроя „Динамо“ в Москве. . . . . | I  |
| Резюме . . . . .                                                                                                                    | 19 |
| В. Ширямов. К методике изучения переработки береговых склонов водохранилищ . . . . .                                                | 21 |
| Резюме . . . . .                                                                                                                    | 45 |

Технический редактор А. Н. Троицкая

Корректор О. В. Герцман

Сдано в набор 23/VII 1940 г. Подписано к печати 1/XI 1940 г. АНИ № 1535. РИСО № 1337. А-32443.  
Формат 70×108/16. Объем 3 печ. л. и 1/4 п. л. вкл., 4,32 уч.-изд. л. В печ. листе 57000 тип. зн.  
Тираж 1000 экз.

1-я Образцовая типография Огиза РСФСР треста „Полиграфкнига“. Москва, Валовая, 28.  
Заказ № 2936.

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Вып. 22. Серия инженерной геологии. № 1. 1940. (В печати.)

Среди статей: *А. А. Петровский*. Применение горизонтальной антенны к электрическому картированию. *В. В. Алексеев*. Полевая однометрическая установка для электрокартирования. *А. П. Баженов*. Некоторое развитие опытов Тебера по изучению грунтов с вертикальной слоистостью.

Вып. 23. Инженерно-геологическая серия. № 2. 1940. Стр. 36. Ц. 2 р.

Содержание: *В. А. Ширямов*. К вопросу о переработке береговых склонов водохранилищ. *В. А. Приклонский*. Некоторые данные по физико-химическим свойствам покровных суглинков окрестностей г. Москвы. *В. М. Файнциммер* и *А. А. Михайлова*. Использование диафанометра Кенига для исследования суспензий рыхлых горных пород. *В. М. Файнциммер*. Выделение высокодисперсной части грунтов из суспензий с помощью суперцентрифуги Шарпле.

Вып. 24. Инженерно-геологическая серия. № 3.

*Н. В. Коломенский*. Исследование трения и сцепления связанных горных пород и исследование рыхлых горных пород как материала для насыпей. 1940. Стр. 56. Ц. 4 р. 20 к.

Вып. 35. Инженерно-геологическая серия. № 4.

*А. Е. Федосов*. Механические процессы в грунтах при замерзании в них жидкой фазы. 1940. Стр. 42. Ц. 3 р.

---

Адрес: Магазин издательства Академии Наук СССР —  
Москва, ул. Горького, корпус Б.

Контора по распространению изданий Академии Наук СССР „Академкнига“  
Москва, Б. Черкасский пер., д. 2.

Ф и л и а л ы к о н т о р ы:

Ленинград, проспект Володарского, 53-а.

Киев, ул. Свердлова, 15.

Харьков, 3, ул. Свободной Академии, 13.

Одесса, ул. 10-летия Красной Армии, 28.

Минск, Советская, 39.

Казань, Пионерская, 17/38.

Львов, Марьяцкая площадь, 6.

Цена 4 руб.