

Некоторые примеры деформации осадков в период их отложения

И. И. Белостоцкий

Содержание. В статье приводятся примеры деформации осадков в период их отложения, главным образом связанные с подводными оползнями. Эти примеры изучены автором в саткинской свите доломитов рифейского возраста на Южном Урале, в яндокской свите кварцитов нижнего палеозоя Северной Кореи, в сумурлинской свите среднего девона (живетского яруса) Уйменской депрессии северо-восточного Алтая и в девонских красноцветных песчаниках Тувы. Кроме описания деформаций, в статье дается характеристика фаціальных условий, при которых они образовались.

В геологии известны различные случаи деформации осадочных горных пород, не связанные с тектоническими процессами. Сюда относятся гляциодислокации, смятие рыхлых пород вследствие просадки при оттаивании, деформация пластических илов под действием неравномерной нагрузки вышележащих осадков, например, линз песка, и ряд других явлений. Примеры деформации нетектонического происхождения слабо освещаются в геологических работах. В частности, редко описываются смятия неуплотнившегося осадка при подводных оползнях до отложения вышележащего слоя. Между тем внимательное изучение обнажений осадочных толщ и происходящих ныне процессов осадконакопления дает основание полагать, что подобные случаи далеко не так уж редки, как это может показаться на первый взгляд.

Цель настоящей статьи — познакомить читателя с некоторыми случаями такого рода, встреченными автором при изучении различных осадочных толщ в разных районах. В статье для каждого рассматриваемого примера делается попытка охарактеризовать не только интересующие нас явления, но и палеогеографическую обстановку, в которой они возникали.

1. Общая характеристика оползневых деформаций

Остановимся вкратце на общей характеристике подводных оползней. Известно, что пластический вследствие влажности ил либо илистый песок может течь как вязкая жидкость даже при сравнительно небольших уклонах — немногим более 3° (а по данным некоторых исследователей при уклонах около $1-2^\circ$). Поверхности напластования с такими и значительно большими уклонами довольно часто встречаются на дне моря в области континентального склона, иногда весьма далеко от берегов, на дне озер и в участках передового склона речных дельт. Широкое распространение подводных оползней при отложении морских осадков было, в частности, доказано работами А. Д. Архангельского по изучению процессов осадконакопления на дне Черного моря [1] и работами, проведенными рядом исследователей вблизи берегов Японского моря.

Осадок, начавший оплывать по наклонной поверхности покрытого водой дна, испытывает деформацию, которая при небольших подвижках имеет характер слабого сморщивания, а при более значительных перемещениях может выражаться в самой интенсивной складчатости, с сильным опрокидыванием складок и надвигами в направлении течения. Обычно мощность подвергающегося течению слоя не превосходит немногих метров. Зачаточные же подвижки небольшой амплитуды наблюдаются в прослоечках, имеющих лишь несколько сантиметров толщины, а иногда измеряемых миллиметрами. Признаки таких подвижек особенно часто отмечаются в алевритах и известковых илах, причем в большинстве случаев эта мелкая текстурная особенность пород совершенно не бросается в глаза и может остаться незамеченной при беглых наблюдениях.

При наиболее крупных поводных оползнях осадок, испытавший пластическое перемещение, как бы «вытекающая» из того места, где первоначально отлагался, может образовать в участке своего повторного погребения довольно мощное линзовидное скопление, нечто вроде конуса выноса, мощностью во много раз больше той, которой слой обладал до оползня. Горизонтальная составляющая пройденного им пути может быть настолько значительной, что выражается в заметном смещении фаций (породы более мелководной береговой зоны, представленные в деформированной оплывшей массе, соприкасаются с породами ненарушенных подстилающих и покрывающих слоев, отложенных в относительно более глубоководной зоне). Вблизи берегов Японии Н. Ямасаки отметил подводный оползень длиной около 10 км, образовавший в одном из углублений морского дна скопление до 230 м мощности.

Самые крупные подводные оползни происходят, повидимому, в области континентального склона морских бассейнов, а мелкие часто повторяющиеся оплывины, захватывающие отдельные прослои, обычны в дельтовой обстановке [7, 11].

Складчатость, возникающая в неуплотнившихся осадках при подводных оползнях, очень своеобразна. Она отличается своим внутрипластовым характером, т. е. тем, что локализуется внутри отдельного слоя, заключенного среди недеформированных слоев, и поражает своим необычно причудливым видом — спирально скрученными линзами и комьями более песчанистой породы, тончайшими лежащими складочками и языковидными натеками илистого осадка, обращенными в сторону его движения, а местами беспорядочно перепутанными.

В силу законов трения нижняя часть стекающего пластического слоя бывает смята менее причудливо, чем верхняя. Интенсивность складчатости кверху сильно возрастает. Перед отложением следующего слоя оплывшая масса нередко подвергается размыву и выравниванию, и вышележащий слой, нормально стратифицированный, залегает на деформированном точно так же, как несмятая толща более молодого возраста — на древнем складчатом фундаменте. Получается как бы миниатюрная модель несогласного соотношения свит. При повторных оплываниях, захватывающих последовательно несколько слоев, отлагавшихся друг за другом, подобные соотношения повторяются несколько раз, в разных горизонтах. Иногда выравнивание поверхности деформированного осадка может производиться нивелирующим действием более позднего подводного оползня, а не размывом.

Как указывается в ряде общих руководств, где затрагивается этот вопрос [4, 6, 7, 9], важнейшие геологические последствия подводных оползней сводятся к следующему:

1) увеличение мощности осадков и количества слоев в более глубоких частях дна, куда сместилась оползшая масса;

- 2) уменьшение мощности осадков и количества слоев в тех частях бассейна, откуда осадки сползают;
- 3) перекрытие более молодых осадков отложившимися ранее и сдвигание толщ;
- 4) смещение фаций, при котором более мелководные отложения оказываются среди более глубоководных;
- 5) развитие местных несогласий;
- 6) возникновение своеобразных текстур (деформаций слоистости) ¹.

2. Оползневые деформации в рифейских толщах Южного Урала

Один из интересных примеров деформаций слоистости, которые, на наш взгляд, связаны с подводными оползнями в период отложения осадков, был изучен автором в 1935 г. в докембрийских отложениях западного склона Южного Урала, выделяемых в последние годы в рифейскую систему.

Интересующие нас явления наблюдаются в отложениях саткинской свиты. Эта свита сложена темносерыми известковистыми и мергелистыми доломитами, с мощными горизонтами кристаллического магнезита, более светлыми чистыми или песчанистыми доломитами, с многочисленными постройками известковых водорослей, реже известковисто- и углесто-глинистыми филлитовидными сланцами. Мощность свиты достигает почти 2,5 км.

М. И. Гарань [3], изучавший стратиграфию и условия образования рифейских толщ Кусинского, Саткинского и Бакальского районов Урала и описавший названную свиту, а также ряд других свит рифейского возраста, установил наличие нескольких крупных ритмов или периодов осадконакопления при их отложении, начинавшихся образованием грубообломочных пород и завершавшихся накоплением глинистых и карбонатных осадков. По представлениям названного автора, эти периоды разделены стратиграфическими перерывами с последующими трансгрессиями рифейского моря в область современного западного склона Урала. Один из них, охватывающий огромный промежуток времени, когда успела отложиться толща более 5 км мощностью, начался формированием айской конгломератово-песчано-сланцевой свиты и закончился отложением карбонатных и карбонатно-сланцевых осадков саткинской и бакальской свит, с признаками значительного общего обмеления бассейна к концу этого процесса. Максимум трансгрессии, с которой связан данный период осадконакопления, падает на среднюю часть времени отложения саткинской свиты. Тем не менее М. И. Гарань, описывая свиту, приходит к выводу о мелководном характере ее осадков. Подтверждение этому он видит в обилии терригенного материала в ее низах, наличии водорослевых горизонтов, присутствии брекчиевидных доломитов и в некоторых других особенностях литологии пород. В конце саткинской эпохи, по его мнению, произошло уменьшение и замыкание бассейна. Режим его сильно изменился, началось выпадение таких химических осадков, как кристаллический магнезит. К этому следует прибавить, что на данный отрезок времени приходится наиболее ясно выраженные

¹ В недавно вышедшем «Методическом руководстве по геологической съемке и поискам», составленном группой геологов ВСЕГЕИ во главе с С. А. Музылевым [5], приводится выполненная А. В. Хабаковым весьма содержательная краткая сводка данных по вопросу древних оползневых смятий и других первичных нарушений слоистости, а также о той обстановке, в которой они образуются. Книга вышла в свет, когда настоящая статья была уже подготовлена к печати.

следы восстановительной обстановки, так как для верхних горизонтов свиты особенно типичны темносерые, почти черные разности доломита¹.

Высказанные М. И. Гаранем представления об условиях отложения саткинской свиты полностью согласуются с данными литологической науки об образовании доломитовых толщ.

Рассматривая вопросы генезиса доломитов, У. Х. Твенхофел [9] приходит к такому заключению:

1. Большая часть доломитовых осадков, особенно типичных для позднего докембрия, образовалась в морской воде. Замещение кальцита доломитом и обогащение отложений магнезией происходило под действием этой воды ранее, чем осадок был вполне уплотнен. Образование доломита протекало, вероятнее всего, при восстановительной химической обстановке.

2. Бассейны, в которых отлагались карбонатные осадки, превращенные в процессе диагенеза в доломиты, были, несомненно, достаточно обширными, но в то же время отличались признаками мелководности. В этих бассейнах господствовали условия ненормальной солености, что и благоприятствовало высокой концентрации магниезных солей. Такими довольно обширными, но неглубокими бассейнами могли быть континентальные моря или отчленившиеся от моря большие соленые озера. Имеются случаи, когда предположение о мелководности этих бассейнов подтверждается некоторыми прямыми доказательствами (например, присутствием в доломитах трещин усыхания).

Как вообще в древних доломитовых толщах, так, в частности, и в саткинской свите отмечается ряд литологических особенностей, еще не нашедших исчерпывающего объяснения. Остановившись на них мы не будем. Упомянем лишь, что некоторые из них, на наш взгляд, могут быть связаны с теми же подвижками не вполне уплотнившегося осадка, которыми вызваны интересующие нас деформации.

Переходим к описанию последних. В обнажении темносерых плитчатых мергелистых доломитов, относящихся к верхам саткинской свиты, у края дорожной выемки километрах в двух южнее города Сатки, была обнаружена весьма необычная причудливая микроскладчатость, имеющая явно внутрислоевый характер. Она наблюдается среди спокойно залегающих слоев, которые в пределах обнажения обладают однообразным пологим падением на запад. Мощность прослоя, испытавшего деформацию, повидимому, не менее 2 м.

При взгляде на деформированный прослой сразу же бросается в глаза необычный характер смятия пород. Особенно типичны присутствующие здесь серии тончайших микроскладок, напоминающие стопки ученических тетрадей (рис. 1, 2). Эти микроскладки, лежащие друг на друге и захватывающие прослоечки по несколько миллиметров толщиной, порой бывают настолько тонки и строго параллельны общей слоистости пород, что их, как правило, даже трудно заметить. Они кажутся серией последовательно напластованных прослоев, и только при внимательном рассмотрении обнаруживаются их сводовые части, подобные изгибам листов тетради возле корешка. Эта необычная микроскладчатость, которую можно назвать листоватой, поражает своим несходством с нормальной складчатостью, обусловленной тектоническими воздействиями на диагенетизированную породу. Она могла возникнуть только

¹ Намотившиеся к концу этого времени сокращение и обмеление бассейна, с образованием замкнутых и полузамкнутых водоемов продолжались и позднее, в течение всего того времени, когда формировалась вышележащая бакальская свита, после чего наступил стратиграфический перерыв, сменившийся новой трансгрессией.

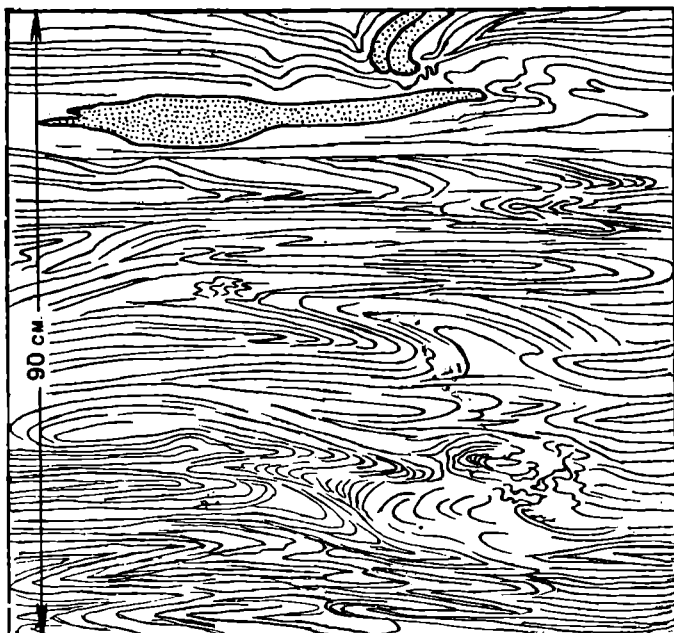


Рис. 1. Тонкая („листоватая“) микроскладчатость, вызванная подводными оползнями в период отложения осадков, наблюдающаяся в темносерых мергелистых доломитах верхних горизонтов саткинской свиты Южного Урала, вблизи г. Сатка.

Точками показаны линзы светлых песчаных доломитов

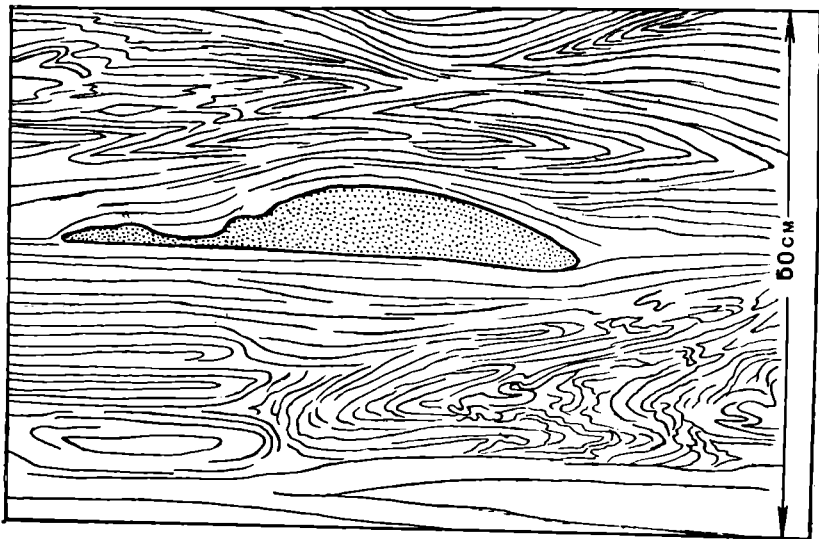


Рис. 2. Микроскладчатость, связанная с подводными оползнями, в тех же мергелистых доломитах саткинской свиты.

Точками выделен песчаный доломит, образующий полого куполовидный приплюснутый комок, скатившийся по наклонному дну бассейна вместе с пластичными илстыми осадками, представленными мергелистым доломитом. В левом углу зарисовки виден спирально закрученный участок, образованный движением ила слева направо (с запада на восток)

в чрезвычайно тонких и пластичных карбонатных илах, напитанных водой и обладающих тончайшей слоистостью.

Замки этих мелких лежачих складочек бывают обращены в разные стороны. Какие из них принадлежат «антиклиналям» и какие «синклиналям» — определить, как правило, невозможно. Решение этого вопроса зависит от того, куда двигался материал и куда опрокидывались микроскладки: если в одну сторону, то к антиклинальным должны быть отнесены микроскладки одной, если в другую — то другой, противоположной ориентировки. Выяснение направления, в котором двигался

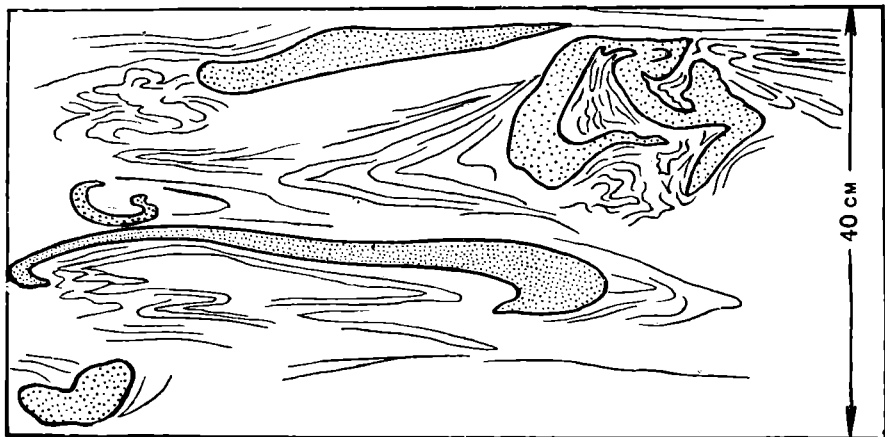


Рис. 3. Деформация песчаных линз в пласте мергелистых доломитов саткинской свиты, смятом подводными оползнями

материал, также вызывает большие затруднения. Но местами все-таки могут быть замечены признаки, позволяющие судить об этом. В отдельных участках наблюдается спиральное закручивание микроскладок (рис. 2, левый угол). Проследив направление оборотов спирали, нетрудно восстановить картину движения карбонатного ила (слева направо на прилагаемом рисунке, т. е. с запада на восток). Кое-где рядом с параллельными лежачими микроскладками встречаются более мелкие складочки чрезвычайно неправильной, замысловатой формы, создающие в поперечном разрезе узор из сложных извилистых линий. Когда к ним прилегают замки более простых лежачих микроскладок, можно полагать, что последние являются «антиклиналями», опрокидывавшимися и надвигавшимися на участок мелкой беспорядочной микроскладчатости.

В отдельных горизонтах наблюдается то явление, напоминающее угловое несогласие свит, о котором было сказано в начале этой статьи (рис. 1 и 3). Такие соотношения между прослоями в пласте, испытавшем деформацию, служат еще одним, наиболее ярким свидетельством того, что микроскладчатость образовалась в процессе отложения саткинской свиты. Такие же несогласные соотношения наблюдаются между всем пластом со следами описываемых деформаций и вышележащим недеформированным слоем (рис. 3).

Сказанным не исчерпываются особенности интересующей нас микроскладчатости. Темносерому тонкослоистому мергелистому доломиту подчинены более светлые и массивные песчаные доломиты. Обладая иными физическими свойствами, они и деформировались иначе, чем мергелистый доломит. При движении илистой массы эти более песчаные осадки обособлялись в отдельные участки, которые по окончании процесса деформации приобрели вид коротких линз, эллиптических

комьев, лепешек или тел, напоминающих сильно расплющенные лавовые подушки. Иногда их можно сравнивать с плоскими караваемы, с совершенно ровным основанием и слегка выпуклым верхом (см. рис. 2). В подобных «каравах» легко узнать скатившиеся по склону комья насыщенного водой илистого песка, расплывшиеся на месте своей остановки. Более продолговатые линзообразные тела песчанистого доломита местами несколько изогнуты и вмяты в тонкозернистую вмещающую породу, испытавшую возле них более сложную и интенсивную деформацию. При этом закругленные лобовые части песчанистых линз обычно бывают подвернуты книзу (рис. 1 и 3). Местами встречаются довольно сильно деформированные линзы песчанистого доломита, как бы свернутые в трубку с измятыми краями (рис. 3). Некоторые линзы или комья песчанистого доломита сверху срезаются поверхностями раздела пластов (рис. 3).

Мощность описанных линз измеряется немногими сантиметрами, длина достигает 50—75 см. Грубая и обычно не слишком сильная деформация этих линз составляет резкий контраст с интенсивной, причудливой тонкой микроскладчатостью окружающей тонкозернистой породы¹.

Как сам характер описанных деформаций слоистости, так и соотношения между пластом, в котором они наблюдаются, с выше- и нижележащими пластами, сохранившими нормальную слоистость, приводят нас к убеждению, что в изученном обнажении представлен типичный и яркий пример смятия осадков подводными оползнями.

С этим убеждением вполне согласуется общая литологическая характеристика саткинской свиты, свидетельствующая о ее отложении в мелководных морских условиях. Мы вправе полагать, что здесь было немало участков со значительным уклоном дна, по которому насыщенные водой тонкие карбонатные илы легко могли оплывать, испытывая причудливое смятие. Не исключено, что и некоторые другие особенности текстуры саткинских доломитов так или иначе связаны с движениями неуплотнившихся или неполностью уплотнившихся осадков в период их отложения и диагенеза².

3. Вероятные следы подводных оползней в нижнем палеозое Северной Кореи

Второй интересный пример деформаций осадков, которые могут быть истолкованы как результат подводных оползней, притом крупного масштаба, был встречен автором в 1951 г. в нижнепалеозойских отложениях Северной Кореи.

¹ Пример точно таких же деформаций в глинистых сланцах с линзами песчаников (позаимствованный у П. Ирпа) приведен Р. Шроком [11, стр. 309, фиг. 234]. Сходство микроскладчатости, показанной им в этом примере, с микроскладчатостью в описанном нами обнажении настолько велико, что приводимая Р. Шроком зарисовка кажется сделанной на одном из участков этого обнажения.

² К числу таких особенностей могут относиться, например, упоминавшиеся М. И. Гаранем доломитовые брекчии. Они состоят из тонких плиток, обычно сложенных темным мергелистым доломитом, заключенных в массу более чистого светлого доломита. Принято считать, что эти брекчии получаются за счет отложения корочек, отвалившихся от водорослевых построек [9], с которыми они обычно связаны пространственно. Но в саткинской свите зачастую отчетливо видно, что плитки брекчии образовались за счет нормально напластованных прослоев мергелистых доломитов, так как по простиранию прослеживаются переходы от брекчированных участков к участкам с ненарушенной слоистостью. Иногда можно заметить, как тот или иной прослой, в одном из участков совершенно целый, далее оказывается расколотым на отдельные плитки, располагающиеся в ряд в направлении слоистости или имеющие разнообразную ориентировку.

Деформации, которые будут описаны ниже, отмечены в долине р. Сугок-Чён в провинции Южная Пхёнандо в самых низах так называемой корейской системы (чосёнге), соответствующей кембрию и нижнему силуру общепринятой стратиграфической шкалы. Здесь рядом исследователей (Ивао Тотейва и др.) описывается так называемая яндокская серия отложений, вероятно, кембрийского возраста. В верхней части она представлена глинистыми сланцами и филлитами с прослоями известняков, объединенными в сунчёнскую свиту (формацию), а в нижней части — кварцитами, выделенными в яндокскую свиту. Последняя залегает на мадзенрийской свите известняков, принадлежащей верхним горизонтам так называемой сангвонской системы (сангвонге), которая по своему возрасту, очевидно, соответствует рифейским отложениям Урала¹. В долине р. Сугок-чён у устья ручья Ынгок, где яндокские кварциты образуют наиболее мощный выход, в них наблюдаются многочисленные довольно крупные лежачие складки, порой весьма причудливой формы (рис. 4). Они резко выделяются на фоне сравнительно спокойного полого-волнистого залегания выше- и нижележащих слоев — мадзенрийских известняков и сунчёнских сланцев, хотя в последних, в связи с процессами метаморфизма, имеет место мелкая гофрировка и резко выраженная вертикальная сланцеватость. Для прослоев известняков сунчёнской свиты характерна плавная тектоническая волнистость слоев с образованием небольших седловидных или куполовидных брахискладок на фоне общего пологого падения крыльев крупных складок первого порядка.

Эта картина спокойной тектоники древних толщ при их значительном метаморфизме, превратившем глинистые сланцы в плычатые филлиты и хлоритовые сланцы, а песчаники — в кварциты, обусловлена особенностями геологической истории Северной Кореи, структуры которой развивались на докембрийском фундаменте так называемой Корейско-Шандунской плиты. Названная плита впоследствии была настолько раздроблена, что не мешала интенсивным проявлениям тихоокеанской складчатости в более молодых породах. Наблюдающиеся в подобной тектонической обстановке многочисленные лежачие складки, присущие свите яндокских кварцитов, сразу же бросаются в глаза как явление необычное, требующее специального объяснения. К сожалению, беглость проведенных нами наблюдений не позволяет осветить это явление исчерпывающим образом.

Мы можем отметить лишь следующие интересные факты. Как уже было упомянуто, складки яндокских кварцитов являются лежачими. Местами среди них встречаются пласты, лишенные гофрировки и обладающие лишь той общей волнистостью, которая характерна для всего комплекса древних пород. Возможно, в некоторых случаях такими пластами представлены сильно растянутые крылья подобных же складок (рис. 4). Размер складок в поперечнике обычно составляет несколько метров, иногда достигает 10 м. Их оси изгибаются в соответствии с общей тектонической волнистостью свиты. При этом замковая часть антиклинальных складок часто «ныряет» книзу. В большинстве случаев выявить отдельные складки и определить, какие из них антиклинали или синклинали, бывает довольно трудно, хотя и не настолько трудно, как в рассмотренном ранее примере (что может быть объяснено, при одинаковой природе деформаций, различными физическими свойствами осадков, в одном случае илистых, в другом — песчаных). Замки антикли-

¹ Название свит и систем, выделенных в Корее японскими геологами, приводятся нами в исправленном виде, в соответствии с корейским произношением местных географических названий.

нальных складок обращены в различные стороны. В наиболее детально-осмотренном нами выходе кварцитов они чаще всего обращены, повидимому, к югу, что может указывать на общее направление смещения деформировавшегося осадка в эту сторону. По свидетельству корейского геолога Ли Ен Чуна (устное сообщение), здесь изредка наблюдаются спирально закрученные складки, с образованием «структуры снежного кома».

Местами соотношение между сложно деформированными участками и вышележащими слоями кварцитов таково, что можно ожидать присутствия тех внутрипластовых «угловых несогласий», со срезанием складок, которые были описаны в предыдущем случае. Однако увидеть непосредственные контакты между ними нигде не удалось.

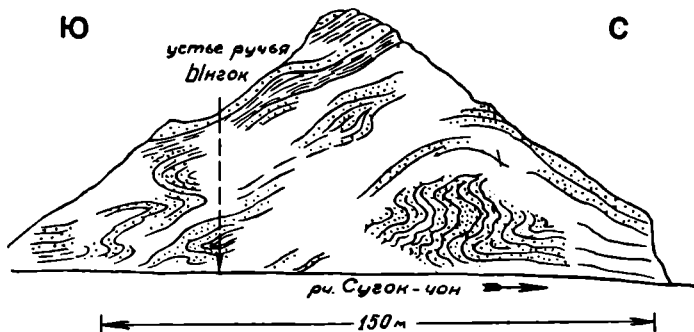


Рис. 4. Складчатость в яндокских кварцитах нижнего палеозоя Северной Кореи (система чосёнге), в долине р. Сугок-чён у устья ручья Ынгок (провинция Южная Пхёнандо)

Далее, по данным упомянутого геолога, в отдельных участках наблюдается необычный характер смены яндокских кварцитов глинистыми сланцами в направлении простираения, необъяснимый нормальным изменением фаций и выклиниванием пород. Сланцы как бы притыкаются сбоку к участку развития кварцитов, образуя пачку до 50 м мощности, тупо заканчивающуюся на стыке с кварцитами без какого-либо дизъюнктивного нарушения. Выше этой пачки снова залегают кварциты, слагающие пласт, который вдаётся в сланцевую свиту, вклиниваясь далеко в ее пределы. Замыкание сланцевой пачки, заключенной между этим пластом и нижележащими кварцитами, имеет в поперечном разрезе форму тупого залива. Подобные соотношения между породами могли бы возникнуть скорее всего в том случае, если бы происходило наполнение песчаного осадка на илы при их одновременном отложении, причем деформированные массы песка вдавливались сбоку в сланцевую толщу, местами образуя перед ней крутые обрывы, а местами вклиниваясь в нее длинными «рукавами»¹.

Наконец, по наблюдениям того же геолога, участок выходов кварцитов у устья ручья Ынгок, со следами описанных деформаций представляет собой местный раздув яндокской свиты. Мощность ее здесь достигает 200—250 м, тогда как в соседних участках измеряется лишь десятками метров, а местами даже немногими метрами (например, в том месте, где полосу кварцитов пересекает Вонсанское шоссе). Этот факт нашел отражение и в составленной Ивао Тотейвой геологической карте района масштаба 1 : 50 000, на которой данный участок изображается как ко-

¹ К сожалению, с результатами более детальных наблюдений по участку, проведенных Ли Ен Чуном в 1952 г., нам не удалось познакомиться.

роткая выпуклая линза около 1000 м длиной, сменяющаяся по простиранию, в северо-восточном и юго-западном направлениях, маломощной полосой кварцитов. При этом местами в сланцы покрывающей свиты вдаются длинные кварцитовые «рукава».

Рассматривая приведенные факты, нетрудно прийти к выводу о малой убедительности тектонического объяснения описанных деформаций. Уже само наличие резких лежащих складок среди спокойно залегающих пластов подстилающей и покрывающей свит показывает необходимость какого-то другого объяснения. При этом из всех видов деформации складков, имеющих нетектоническое происхождение (гляциодислокации, складчатость, вызванная изменением объема при перекристаллизации, течение осадков под действием неравномерной нагрузки вышележащих пород и т. д.), наиболее вероятной в данном случае представляется складчатость, вызванная подводными оползнями. Приуроченность внутрипластовых смятий к линзообразному раздуву свиты подкрепляет высказанное предположение.

Вполне возможно, что здесь представлены следы одного из тех крупных подводных оползней, образующихся обычно в море в зоне континентального склона, которые на месте своей остановки образуют большие линзовидные тела оплывших осадков, напоминающие язык грязевого потока. Мощность этих линз иногда достигает сотен метров, а в горизонтальном направлении они могут измеряться километрами. Некоторые структурные детали в строении оползшей массы, например, опрокинутость большинства складок в одну сторону, часто указывают на определенное направление, в котором сползали осадки. Ненарушенные породы позднее отложившихся слоев залегают впритык к деформированной массе. Наконец, именно для этих крупных оползней характерно упомянутое выше смещение фаций [6, 9, 11, 12].

В описанном нами случае как будто бы присутствуют все перечисленные признаки. Правда, отмеченная смена литологии по вертикали, выражающаяся в том, что на мадзенрейских известняках залегают яндокские кварциты, а на последних — глинистые осадки сунчёнской свиты, имеет место не только в данном участке линзовидного раздува яндокской свиты. Кварциты, хотя бы в виде маломощной пачки, присутствуют и в других участках, что связано с общим поднятием дна бассейна на границе сангвонской и корейской систем¹. Однако в тех участках, где по свидетельству Ли Ен Чуна наблюдается залегание сланцев сунчёнской свиты впритык к мощной линзе кварцитов, смещение фаций в горизонтальном направлении несомненно происходило. Некоторое поднятие дна, совершившееся в указанное время в связи со слабыми тектоническими движениями, отделявшими рифей от кембрия, как раз и могло послужить причиной появления достаточно крутых уклонов, которыми обуславливаются подводные оползни.

Таким образом, рассмотренный пример нетектонической деформации древнепалеозойских осадков представляет большой интерес как вероятный результат крупного подводного оползня, образовавшегося на дне моря, повидимому, в зоне континентального склона.

4. Некоторые примеры деформаций, происходивших в период отложения осадков, в девонской толще Уйменской депрессии на Алтае

Необычайно яркие и интересные проявления деформаций неуплотнившихся осадков были отмечены нами, в третьем случае, в девонской

¹ В нижних горизонтах яндокской свиты в некоторых районах Северной Кореи отмечаются слои конгломератов.

толще так называемой Уйменской депрессии северо-восточной части горного Алтая в 1953 г.

Названная депрессия, простирающаяся почти в меридиональном направлении и расположенная западнее Телецкого озера, образовалась в середине палеозоя на фундаменте, сложенном ниже- и среднекембрийскими породами, интенсивно смятыми раннепалеозойской (салаирской) складчатостью. Будучи ограничена с востока и юго-запада крупными тектоническими разломами, отделившими ее от соседних тектонических выступов, она превратилась в местный бассейн осадконакопления на северо-востоке еще в силурийское время, а на остальной территории — в среднем девоне. Отложение осадков происходило здесь в эпиконтинентальной или континентальной, преимущественно дельтовой обстановке, причем перед концом среднего девона (а на северо-западе еще в эйфельское время) начались обильные излияния средних и кислых эффузивов. В результате этих процессов в депрессии накопилась мощная толща преимущественно красноцветных или пестроцветных осадочных пород, чередующихся с пачками или свитами эффузивов и туфов. Образование этой толщи закончилось в верхнедевонское время, а в верхнем палеозое (в среднекаменноугольное время и в пермокарбоне) на ней местами отложились угленосные континентальные осадки, сохранившиеся ныне лишь в отдельных грабенах. Тектонические движения герцинской эпохи привели к полному замыканию депрессии, превратили ее в горную страну и значительно дислоцировали породы, которые ее выполняют.

Проведенные нами наблюдения и анализ данных других исследователей, изучавших депрессию в соседних районах (В. М. Сенникова, К. Д. Нешумаевой, С. Ф. Дубинкина, Г. А. Курганова, А. Ф. Белоусова и др.), привели нас к выводу о том, что в период особенно интенсивного осадконакопления, т. е. в среднем и верхнем девоне, Уйменская депрессия представляла узкий морской залив, вдававшийся в пределы Алтая, очевидно, с юго-востока, из северной Монголии или южной Тувы. С востока же, со стороны Западного Саяна, в этот залив впадали реки, дельты которых, постепенно нарастая, продвигались в западном или северо-западном направлениях, заполнив своими осадками сначала восточную, а затем центральную части депрессии. На юго-западной окраине депрессии на выступы-останцы кембрийских известняков местами непосредственно ложится более молодая, существенно эффузивная свита, которая на востоке и в центре лежит на дельтовых осадках среднего девона.

Помимо этого несимметричного строения толщи, обусловленного ее дельтовой природой, здесь отмечаются и многие другие признаки дельтовой обстановки накопления осадков: их преимущественно красноцветный или пестроцветный характер, связанный с частым чередованием окисления и раскисления, большая роль алевролитов, часто отличающихся тонкой слоистостью, присутствие в них линз и пачек плохо сортированных косослоистых кластических образований, наличие признаков наклонного или линзообразного залегания слоев, присутствие пород дальнего переноса в гальках конгломератов и гравелитов, маломощные подчиненные прослои морских ракушечников или коралловых известняков, отличающихся бедностью видового состава фауны, обильные знаки ряби, трещины усыхания, глинистые черепки, остатки наземных растений и т. п. Наконец, к числу признаков, характерных для дельтовой обстановки образования данной толщи, относятся и те деформации осадков

в период их отложения, на которых мы должны будем специально остановиться¹.

Эти деформации встречены нами при изучении опорных разрезов девона в нижней половине толщи, в так называемой сумурлинской свите, принадлежащей живецкому ярусу, в верховьях р. Сумурлу к юго-западу от Телецкого озера. Представленные здесь горизонты свиты формировались преимущественно в условиях склона дельты, хотя время от времени, в связи с колебаниями морского уровня, этот участок поднимался над поверхностью залива. Об обстановке, типичной для склона дельты, свидетельствуют такие признаки, как появление среди пестроцветных отложений также пород, обладающих сероватыми и синеватыми окрасками, в большинстве случаев хорошая сортированность и ясная слоистость осадков, отложение глин, песчаных глин, мергелей и известняков с морской фауной, следы значительных уклонов при отложении пород, веерообразное расположение слоистости на первоначальном склоне дна бассейна и т. д. Не случайным является и то, что именно в этих горизонтах свиты встречены деформации, связанные с подводными оползнями.

В одном из отмеченных нами случаев эти деформации выражены в сложном беспорядочном смятии пласта тонкозернистых пестроцветных песчаников, залегающего среди нормально наслоенных пластов тех же пород. Лиловые алевроитовые корочки, заключенные в этом пласте, имеют в поперечном разрезе такой вид, словно представляют комок перепутанных коротких обрывков нитей.

В том же месте, в крутом и высоко обрыве долины р. Сумурлу, пересекающей свиту вкрест простирания, обнажен участок, где слоистость создает картину как бы миниатюрного дельтового веера или конуса выноса в его поперечном разрезе (рис. 5). Наибольшая мощность этого конуса в пределах обнажения достигает почти 100 м, а через 300—350 м по направлению выклинивания убывает до нескольких метров. Вышележащие слои залегают на нем как будто с «угловым несогласием», притыкаясь к его склону. Если основанию конуса мысленно придать горизонтальное положение, то мы получим уклон его верхней поверхности в несколько градусов. К периферии конуса, где он почти полностью выклинивается, приурочен тот участок, где наблюдаются описанные деформации. Выше по склону конуса отмечается как бы пологая ниша, в пределах которой часть осадков была сорвана с его поверхности и перенесена к его подошве.

Таким образом, мы видим здесь не только деформированную массу оползшего осадка, но и поверхность, по которой он скользил, обладавшую значительным первичным наклоном.

Другой случай деформации уплотнившихся осадков подводными оползнями отмечен в нескольких сотнях метров стратиграфически ниже. В этом месте внутри пласта пестроцветных алевроитовых песчаников с пленками и тонкими прослоями алевролитов наблюдается слой

¹ Помимо дельтовой обстановки необходимо иметь в виду также то, что в позднекаледонское время Уйменская депрессия представляла предгорный прогиб и, возможно, была сейсмически активной, о чем позволяют предполагать проявившиеся здесь движения тельбесской фазы и девонская вулканическая деятельность. Как указывает А. В. Хабаков [5], для подобной обстановки подводные оползни весьма характерны. Вообще, тектонические движения при непрерывающемся отложении осадков служат фактором, в высшей степени благоприятным для развития подводных оползней. Так, А. А. Богдановым на основании изучения оползневых глинистых брекчий в верхнекаменноугольном флише бассейна р. Сахары убедительно доказана связь их образования с ростом антиклинальных складок, во время которого процесс осадко-накопления не прерывался [2].

в 15—20 см мощностью, испытавший причудливое смятие (рис. 6). Образовавшиеся здесь микроскладки в продольном сечении имеют вид, больше всего напоминающий лаву, застывшую в процессе своего движения. Наиболее крупные из них, достаточно ясно выраженные, достигают в поперечнике 3—4 см и особенно сильно напоминают миниатюрные лавовые языки. Точно такую же форму имеют и некоторые более мелкие

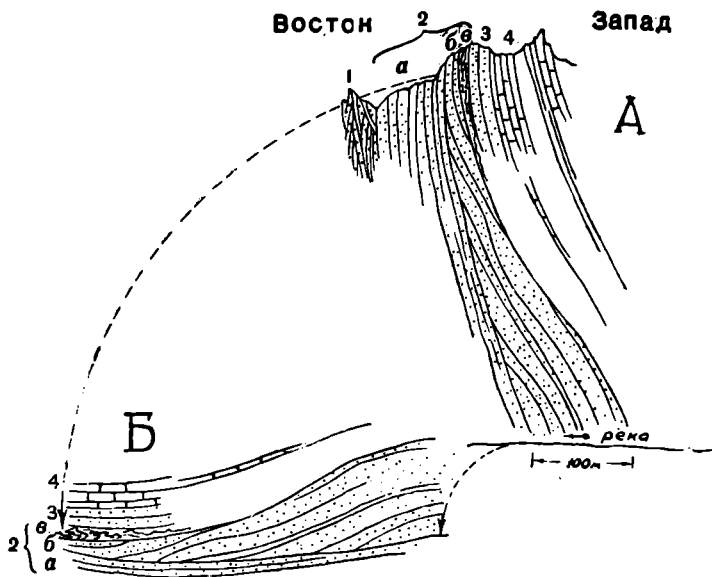


Рис. 5. Ископаемый конус выноса в отложениях сумурлинской свиты девона Уйменской депрессии на Алтае, со следами подводного оползня, двигавшегося по его поверхности:

А — зарисовка конуса выноса в его современном положении, в обнажении на правом борту долины р. Сумурлу вблизи ее истоков; *Б* — первоначальное положение того же конуса выноса в период отложения свиты; 1 — слой косослоистых грубозернистых песчаников; 2 — пачка тонкозернистых пестроцветных песчаников: *а* — ее нижняя часть, подстилающая конус выноса, *б* — слои, слагающие конус, *в* — верхний слой, испытавший деформацию; 3 — пласт нормально слоистых песчаников и алевролитов; 4 — пачка известняков с морской фауной

микроскладки. Все они сильно вытянуты и опрокинуты в одну сторону — в направлении течения осадка. Некоторые микроскладки переходят в надвиги, а иные «ныряют» своими сводовыми частями (концами языков) книзу или даже спирально закручиваются. В отдельных участках деформированный осадок смят в комья, образующие в разрезе узор, похожий на извилины мозга. Здесь же наблюдается особенно ярко выраженное спиральное закручивание породы, иногда с несколькими оборотами спирали. Порой можно заметить, что несколько таких комьев прихотливой структуры как бы отходят от одного стебля: хвостовые части этих комьев указывают на то место, откуда они были выдавлены. Промежутки между более крупными микроскладками, комьями и языками заполнены мельчайшей беспорядочной складчатостью. Отдельные складочки, иногда плохо выраженные, измеряются здесь миллиметрами. Характерно общее плавное затухание складчатости книзу при наиболее интенсивном ее проявлении в верхней части деформированного слоя. Однако в данном случае не существует поверхности резкого раздела между массой осадка, испытавшей деформацию, и лежащим выше недеформированным слоем, с образованием того подобия угловых несогла-

сий, которое так типично для оползневых смятий. Покрывающий слой лишь обладает в своей нижней части небольшой волнистостью, которая может быть обусловлена неровностью поверхности оплывшего осадка или тем, что движение его продолжалось, когда покрывающий слой уже начал отлагаться.

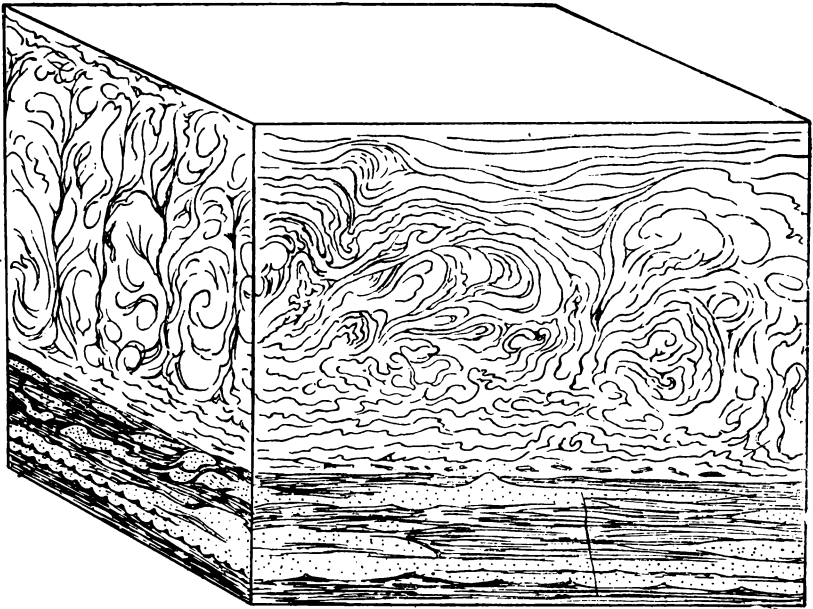


Рис. 6. Блок-диаграмма оползневых деформаций в алевритовых песчаниках сумурлинской свиты девона Уйменской депрессии в верховьях р. Сумурлу на правом склоне ее долины $\frac{1}{5}$.

Виден разный характер деформаций в разрезе, ориентированном по направлению движения оползня, и в разрезе, перпендикулярном к этому направлению (боковая грань блок-диаграммы). Внизу продольной штриховкой показаны алевролиты с прослоями и мелкими линзами песчаника (точки). В алевролитах видны знаки ряби от волнения, а в верхней части алевролитового слоя — следы деформаций мелких песчаниковых линз в связи с движением оползня по его поверхности

Еще более интересный характер имеют описанные деформации в поперечном разрезе, т. е. в плоскости, расположенной перпендикулярно к направлению движения оползавшего осадка. В этом сечении хорошо видно, что двигавшаяся масса текучего песчанистого ила делилась на обособленные параллельные потоки, сильно сдавленные с боков и обладающие более значительными размерами по вертикали. Это как бы столбики породы, получившиеся в процессе ее пластического перемещения. Внутри каждого такого столбика движение вещества не было параллельным его краям, а происходило спирально, вихреобразно. Поэтому слоистость, подчеркнутая в песчанике алевритовыми корочками, создает здесь сложный орнамент с преобладанием спиральных линий, иногда ответвляющихся, как от общего стебля, от вертикальной поверхности раздела этих потоков. Местами зигзаги слоистости в поперечном сечении описанных потоков напоминают извилины человеческого уха ¹.

¹ Мы вынуждены перегружать текст образными сравнениями, которые в ряде случаев могут показаться несколько неожиданными. Однако своеобразие описываемого явления настолько велико, что его трудно передать в более сухих выражениях, тем более что в литературе, известной автору, еще не давалось описания деформаций, обладающих подобным морфологическим характером.

Соединяя зарисовки, сделанные в продольном и поперечном сечениях, в блок-диаграмму, нетрудно убедиться, что эти столбики или потоки представляют лишь поперечный разрез описанных выше языков, микроскладок и комьев (рис. 6).

По своему общему виду текстура деформированных алевритовых песчаников участка довольно сходна с тем, что мы видим на отшлифованной поверхности малахитовых натеков или в срезе куска древесилы карельской березы.

Ниже деформированного слоя залегают нормально стратифицированные темные лиловатые алевролиты с тонкими прослоями и мелкими линзочками песчаника. В алевролитах наблюдаются знаки ряби от волнения. Несмотря на нормальный, в общем, характер слоистости алевролитового слоя, некоторые детали его текстуры у самого контакта с вышележащими песчаниками несут следы небольшого скользящего перемещения в пластическом состоянии. Некоторые линзочки песчаника здесь сжаты с боков, точно испытали давление, ориентированное в горизонтальном направлении, и превращены в червеобразные тельца, наползающие друг на друга. Очевидно, при движении оползня по поверхности данного слоя его самая верхняя часть (до 2,5—3 см мощностью) также была затронута скольжением, хотя оно и не было настолько значительным, чтобы вызвать резкие деформации.

Едва ли можно сомневаться в том, что рассмотренные смятия пород связаны именно с подводными оползнями. Это становится особенно ясным в свете всех приводившихся выше данных, характеризующих обстановку образования сумурлинской свиты и свидетельствующих, в частности, о том, что здесь существовали значительные первичные уклоны поверхности, по которой время от времени происходило скольжение отлававшихся осадков.

В интервале между горизонтами со встреченными нами следами подводных оползней были обнаружены следы не менее интересных деформаций неуплотнившегося осадка, имеющих несколько иное происхождение. В одном из слоев пестроцветных алевролитов, с прослоями алевритового песчаника, в этом интервале наблюдается своеобразная текстура, которая может быть объяснена выдавливанием насыщенных водой песчаных осадков, обладавших свойством текучести, из более нижних горизонтов слоя в более верхние, через прорванные отвердевшие корочки алевритового ила (рис. 7). Это явление, отмеченное в небольшом куске породы, измеряющемся сантиметрами, выражается в том, что песчаник нижележащего прослоя как бы протыкает снизу вверх прослой алевролитов и соединяется с вышележащим песчанниковым прослоем. В участке прорыва алевролитового прослоя в песчанике видны мелкие складочки, а корочки алевролита разбиты на небольшие плитчатые обломки. Эти обломки у края прорванного участка завернуты кверху, несколько выше — поставлены вертикально, а еще выше, над поверхностью алевролитового прослоя, опрокинуты вверх основанием и разнесены в разные стороны от прорыва в горизонтальном направлении, причем обладают черепичатым расположением.

Эта мелкая текстурная деталь, которую легко не заметить в породе, заслуживает большого внимания. Мы имеем здесь дело со своеобразной «инъекцией» неотвердевшего осадка, которая могла происходить в связи с его выдавливанием из соседних участков, очевидно, под влиянием неравномерной нагрузки вышележащих пород. Неравномерная нагрузка могла быть вызвана отложением мощных линз песка или галечника, которые представляют распространенное явление в дельтовой обстановке.

В том же слое, стратиграфически выше, наблюдаются трещины

усыхания с расширенными верхними краями, пересекающие пачку алевролитовых прослоев и заполненные песком. Края полигонов, вырезанных трещинами, подняты кверху. Кроме того, в породе часто отмечаются блюдцеобразно изогнутые глинистые (алевролитовые) черепки, оторвавшиеся от таких полигонов и образующие своего рода осадочную брекчию.

Описанные текстуры чрезвычайно характерны для пестроцветных пород сумурлинской свиты и некоторых горизонтов вышележащей уйкараташской свиты, которая входит в состав той же девонской толщи дельтовых осадков Уйменской депрессии.

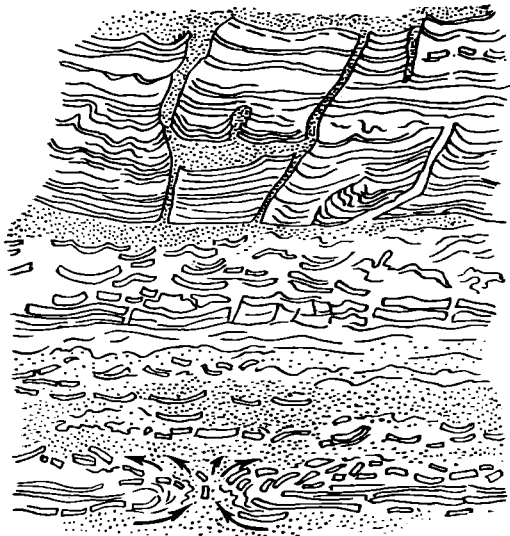


Рис. 7. Следы выдавливания песчаного осадка из нижнего слоя в верхний через прослой уплотнившегося алевролита, трещины усыхания и глинистые черепки в пестроцветных алевролитах, переслаивающихся с песчаниками, в верхней части сумурлинской свиты. Верховья р. Сумурлу, правый склон долины. 1/2

Следует подчеркнуть, что в данном случае признаки обсыхания дна имеют место именно в том слое, в котором встречены и следы выдавливания текучего песчаного ила. Можно думать, что линзы более грубообломочных отложений, вызвавшие неравномерную нагрузку, были образованы в период половодья наземными потоками — рукавами реки, создавшей дельту.

5. Оползневые деформации в девонских красноцветных песчаниках Тувы

Упомянем еще об одном интересном примере нетектонической деформации слоистости, встреченном нами при изучении девонских отложений Тувы.

Общая геологическая обстановка и палеогеография на-

званной области очень напоминают то, что имеет место в предыдущем случае. В раннепалеозойское (салаирское) время здесь произошли наиболее энергичные тектонические движения, дислоцировавшие геосинклинальные толщи нижнего и среднего кембрия. На этом раннепалеозойском складчатом фундаменте в отдельных районах еще в верхнем силуре, а в других в нижнем девоне началось отложение прибрежно-морских и дельтовых, преимущественно красноцветных, иногда пестроцветных песчаных осадков.

В одном из участков накопления девонских дельтовых осадков, в долине р. Каа-хем, на его правом берегу, у с. Бельбей в 1947 г. В. П. Масловым, В. Е. Гендлером и автором в пачке косослоистых красноцветных песчаников были замечены следы внутрислоистых смятий (рис. 8).

Песчаники, обычно мелко- или среднезернистые, местами содержат разрозненную мелкую гальку. Косая слоистость в них очень резко выражена и достигает значительной крутизны уклона (до 30°). Часто отмечаются крупные знаки ряби.

В одном слое песчаников мощностью несколько более 1 м косая слоистость приобретает несколько волнистый характер. Кверху волни-

стость постепенно все более усиливается и переходит в мелкие складки; некоторые из них испытывают значительное опрокидывание. Сверху эти микроскладки, измеряемые немногими сантиметрами в поперечнике, срезаются вышележащим нормально стратифицированным слоем. Наряду со срезанием складчатости сверху, отмечается ее затухание по простиранию слоя, в том направлении, куда опрокинуты складки и куда, очевидно, двигался неуплотнившийся осадок перед отложением следующего слоя. Этот случай деформации, вероятно, также связан с оползневыми явлениями при отложении осадков.

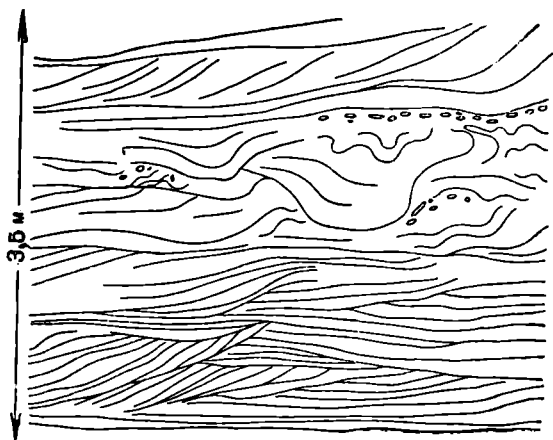


Рис. 8. Косая слоистость и следы деформаций, вызванных, вероятно, небольшими подводными оползнями, в красноцветных девонских песчаниках на правом берегу р. Каа-хем у с. Бельбей в Туве

Рассмотренные примеры свидетельствуют о сравнительно широком распространении деформаций слоистости

в процессе отложения осадков, в частности, смятий неуплотнившихся пород при подводных оползнях. Мы встречаем их в отложениях различного возраста и разных стран — в рифейских толщах Урала, в нижнем палеозое Северной Кореи, в девонских слоях Алтая и Тувы — в различных фациальных условиях: в обстановке, очевидно, довольно глубокого моря вблизи континентального склона, в условиях полузамкнутого мелководного морского бассейна с повышенной соленостью и в речных дельтах. Некоторые из описанных примеров чрезвычайно интересны по морфологической характеристике рассматриваемых деформаций и должны быть учтены при изучении осадочных пород в полевой обстановке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский А. Д. Оползание осадков на дне Черного моря и геологическое значение этого явления. Бюлл. МОИП, отд. геол., т. 8 (1—2), 1930.
2. Богданов А. А. О происхождении горизонтов глинистых брекчий в каменноугольном флише бассейна р. Сакмары. Изв. АН СССР, сер. геол., № 6, 1946.
3. Гарань М. И. Возраст и условия образования древних свит западного склона Южного Урала. Госгеолиздат, 1946.
4. Иванов А. А. Подводные оползни в пермских отложениях Урала. Изв. Гл. геол.-разв. упр., 1930.
5. Методическое руководство по геологической съемке и поиску м (под ред. С. А. Музылева). Госгеолтехиздат, 1954.
6. Наливкин Д. В. Учение о фациях, 1933.
7. Пустовалов Л. В. Петрография осадочных пород, ч. II. Гостоптехиздат, 1940.
8. Спутник полевого геолога-нефтяника, т. I (под ред. Н. Б. Вассоевича). Гостоптехиздат, 1954.
9. Твенхофел У. Х. Учение об образовании осадков. ОНТИ, 1936.
10. Хабаров А. В. Древние оползневые нарушения артипских слоев на Среднем Урале. Докл. АН СССР, нов. сер., т. 61, № 6, 1948.
11. Шрок Р. Последовательность в свитах слоистых пород. Изд. иностр. лит-ры, 1950.