

УДК 551.733(571.1)

## СЛЕДЫ КОНСЕДИМЕНТАЦИОННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА АЭРОНСКИЕ МОРСКИЕ ТЕРРИГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО АЛТАЯ

Н.В. Сенников

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090,  
Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

В алтайских аэронах терригенных образованиях установлены следы проявления палеосейсмитов. На стратиграфическом уровне верхней части граптолитовой зоны convolutus и нижней части зоны sedgwicki обнаружены текстуры хрупких деформаций, формирующие брекции. Их сопровождают текстуры деформаций мягких (несцементированных) осадков («soft-sedimentary deformation structures» — SSDS): а) турбированые слои; б) подвернутые слои; в) комковатые («вздыбленные») поверхности границ слоев и другие. На заключительном этапе формирования изученные породы претерпели изменения в процессе оползнеобразования в подводном каньоне — сформировались «закрутыши» («псевдоконгломераты»).

*Силур, аэрон, терригенные породы, седиментационные текстуры, палеосейсмиты, Горный Алтай*

### SIGNATURES OF SYNDEPOSITIONAL SEISMIC EFFECTS IN AERONIAN MARINE CLASTIC SEDIMENTS IN WESTERN GORNY ALTAI

N.V. Sennikov

The Aeronian clastic sediments in the Gorny Altai area bear signatures of past seismic effects (paleoseismites). Sedimentary structures produced by brittle deformation (breccias) span the level of the upper convolutus graptolite zone and the lower sedgwicki zone. They coexist with soft-sediment deformation structures (SSDS), such as turbated and rolled layers, bumpy layer boundaries, etc. At the final deposition stage, the rocks were deformed during seismically-triggered landsliding and were shed into a submarine canyon, with formation of rolls (pseudo-conglomerate).

*Silurian, Aeronian, clastic sediments, sedimentary structures, paleoseismites, Gorny Altai*

### ВВЕДЕНИЕ

Среди терригенных осадочных пород морского генезиса описано много текстур, которые осложняют субпараллельную первичную слоистость и закономерности расположения обломков внутри слоев. За счет самых разных причин возникают турбированые слои, различного рода псевфитовые образования, конседиментационные складчатые структуры и другие феномены [Атлас..., 1962; Петтиджон, 1981; Алексеев, 2014; и др.]. Генезис таких текстур может быть самым разнообразным и, зачастую, не всегда однозначно расшифровываемым. В последние годы особое внимание привлекают текстуры, которые интерпретируются как сейсмогенные [Seilacher, 1969, 1984]. Для четвертичных и, в меньшей степени, для неогеновых континентальных осадочных образований, особенно в регионах с повышенной сейсмичностью, отнесение различных конседиментационных и постседиментационных текстур к сейсмогенным большинством седиментологов считается не только распространенным, но и неоспоримым явлением [Деев и др., 2009, 2013; Гладков, Лунина, 2010]. По таким материалам проводятся исследования [Стром, Никонов, 1997; Лунина, 2001] соотношений параметров сейсмогенных разрывов и магнитуд землетрясений.

Для более древних как континентальных, так и морских осадочных образований, выделение палеосейсмических дислокаций и специфических сейсмогенных текстур относится пока к достаточно редким исследованиям. Введение понятия «сейсмиты» [Seilacher, 1969, 1984] инициировало интерес к изучению следов мезозойских и палеозойских сейсмических процессов [Mills, 1983; Montenat et al., 2007; Owen et al., 2011; Topal, Özkul, 2014; Гаврилов, 2017, 2018; Velazquez-Bucio et al., 2021; и др.]. В то же время остается под вопросом генезис многих конседиментационных текстур, наблюдавшихся в терригенных морских осадочных образованиях палеозоя, часть из которых несет следы конседиментационного

воздействия. При этом раннепалеозойские морские последовательности являются наиболее слабоизученными. Требуется накопление материала для оценки масштаба проявления палеосейсмичности в регионах с широким развитием таких палеозойских образований.

Большинством специалистов до настоящего времени единодушно считалось, что Алтайский морской седиментационный бассейн в силурийское время относился к пассивной окраине континента, где практически отсутствовали какие-либо тектонические проявления [Елкин, Сенников, 1998]. Поэтому крайне важно выявить и описать вероятные сейсмогенные конседиментационные силурийские деформации. Это все в сумме и определило цель настоящего исследования.

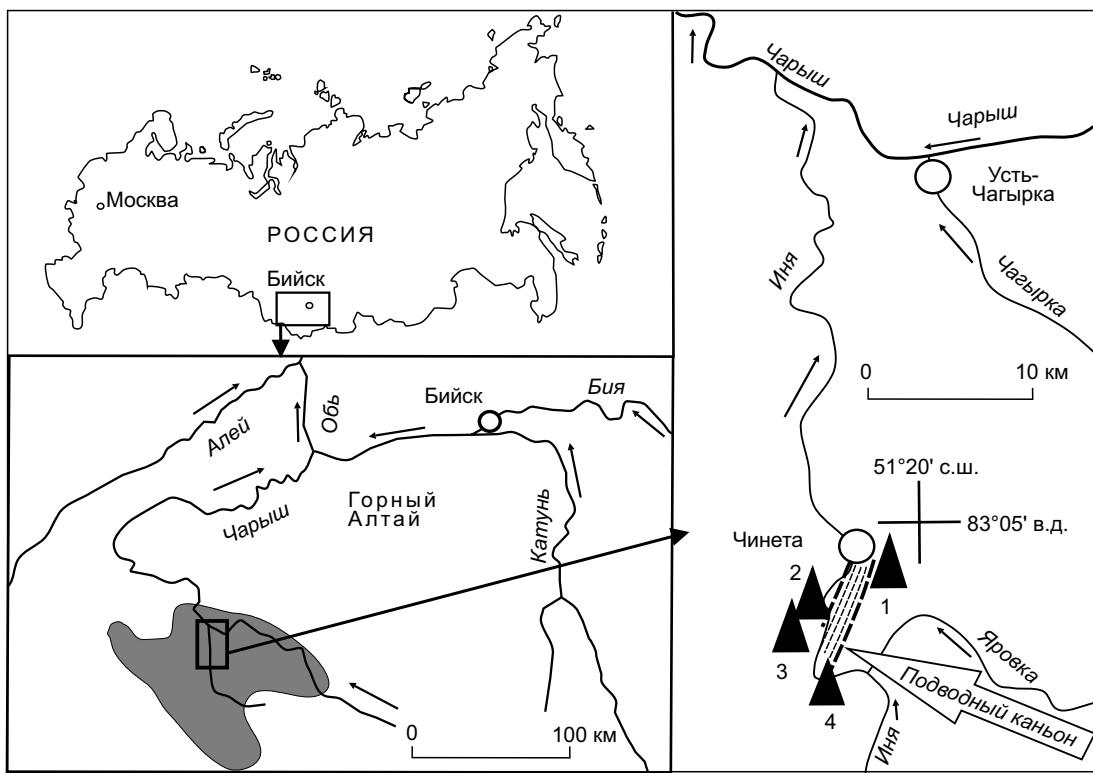
Осадочные образования рудданского и аэронарского ярусов лландоверийского отдела силура в большинстве геологических регионов мира сложены терригенными отложениями псамитовой и пелитовой размерности. Аналогичная картина наблюдается и в составе силурийских местных стратонов южного складчатого обрамления Сибири — на Горном Алтае и Салайре [Сенников и др., 2019], в Западном Саяне и Тыве. На Алтае рудданскому и аэронарскому ярусам соответствует свита Вторых Утесов, представленная глинистыми аргиллитами, редко алевролитами [Сенников, 1976; Сенников и др., 2019]. Выше согласно залегает сырватинская свита, относящаяся к самым верхам аэронарского яруса и двум третям телического яруса, которая сложена глинистыми и известковистыми аргиллитами и алевролитами [Сенников и др., 2019]. Обе отмеченные свиты составляют единый трансгрессивный цикл с нарастающей ролью карбонатного материала (в виде цемента) и содержат в многочисленных своих разрезах главным образом пелагическую группу фауны — граптолиты, другие бентосные группы фауны встречаются крайне редко, преимущественно в сырватинской свите. По условиям своего формирования осадочные последовательности свиты Вторых Утесов и сырватинской свиты относятся к седиментационным обстановкам акваторий шельфового генезиса, удаленным от материнского источника обломочного материала, с глубинами формирования, превышающими волновое и штормовое воздействие [Сенников, 1976; Sennikov et al., 2008]. Закономерными текстурными особенностями строения подавляющего большинства разрезов свиты Вторых Утесов и сырватинской свиты являются: а) субпараллельная слоистость и микрослоистость; б)держанность литологического состава в вертикальном разрезе и по латерали; г) общая массивная текстура пачек пород ( массивно- и толстослоистые), д)держанность мощности слоев и пачек по простиранию; е) отсутствие конседиментационных и сближенных с ними по времени постседиментационных деформаций. В то же время исключение из этого правила составляет группа разрезов свиты Вторых Утесов и сырватинской свиты (Гора Черная, Первые Утесы, Вторые Утесы, Россыпногорский), расположенные в Чарышско-Инской структурно-фацальной зоне западной части Горного Алтая (южнее с. Чинета) (рис. 1). Эти разрезы достаточно хорошо обнажены, четко подразделяются на ряд пачек, породы в них залегают под углами от 5—10 до 20—25°, редко 30°.

В районе с. Чинета и соседнего с. Усть-Чагырка имеется много разрезов (Буровлянка, Чинетка, Воскресенка и др.), в которых, по собранным в них граптолитам, установлена непрерывная последовательность граптолитовых зон рудданского, аэронарского и телического ярусов лландоверийского отдела силура [Сенников, 1976; Sennikov et al., 2008; Сенников и др., 2019]. И только в разрезах Гора Черная, Первые Утесы, Вторые Утесы, Россыпногорский (рис. 2—4), в узком стратиграфическом интервале верхней части граптолитовой зоны *convolutus* и нижней части зоны *sedgwicki* встречены «закрутыши» (или «закатыши»), именуемые «псевдоконгломератами» или брекчиями, а также и другие конседиментационные текстуры. Эта приуроченность таких объектов к кратковременному интервалу свидетельствует о проявлении экстраординарного эпизода в истории эволюции Алтайского морского аэронарского бассейна. Таким эпизодом, осложняющим ход непрерывного процесса тонкотерригенной седиментации в палеоакватории, удаленной от области сноса материала, могли быть палеосейсмические события.

## ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

В отмеченной группе разрезов (Гора Черная, Первые Утесы, Вторые Утесы) (рис. 5) тонкотерригенные темноцветные и сероцветные последовательности свиты Вторых Утесов и сырватинской свиты сложены породами, которые можно именовать «псевдопсифитами». Обособленные от матрикса окатанные тела в псевдопсифитах в разрезе Гора Черная именовались «закрутыши» (или «закатыши») и интерпретировались как образования подводных оползней, сформировавшиеся при перекатывании по наклонной поверхности обломков («обрывков») слоев нелитифицированных осадков [Сенников, 1976; Sennikov et al., 2008] (см. рис. 2). В настоящее время в связи с разработкой современной терминологии часть из них следует относить к текстурам (следам) различных деформаций несцепментированных (нелитифицированных) осадков — «soft-sedimentary deformation structures» (SSDS) [Allen, 1982; Owen et al., 2011; Poldsaar, Ainsaar, 2014; и др.].

В последние годы часть деформаций, включая и SSDS, наблюдавшихся среди терригенных образований, стали интерпретировать как сейсмогенные [Seilacher, 1969, 1984; Mills, 1983; Pope et al., 1997; Ettensohn et al., 2002; McLaughlin, Brett, 2004; Jewell, Ettensohn, 2004; Montenat et al., 2007; Simms, 2007;



**Рис. 1. Район исследований и положение изученных разрезов в западной части Горного Алтая.**

Серое поле — силурийские выходы пород в Чарышско-Инской структурно-фациальной зоне. 1—4 — разрезы: 1 — Гора Черная (начало разреза  $51^{\circ}19'05''$  с.ш.,  $083^{\circ}03'40''$  в.д.), 2 — Первые Утесы (начало разреза  $51^{\circ}18'30''$  с.ш.,  $083^{\circ}03'15''$  в.д.), 3 — Вторые Утесы (конец разреза  $51^{\circ}18'15''$  с.ш.,  $083^{\circ}03'05''$  в.д.), 4 — Россыпногорский (начало разреза  $51^{\circ}16'45''$  с.ш.,  $083^{\circ}02'55''$  в.д.).

Wei et al., 2007; Du et al., 2010; Owen et al., 2011; Topal, Özkul, 2014; Wallace, Eyles, 2015; Roger, 2017; Гаврилов, 2017, 2018; Velazquez-Bucio et al., 2021; и др.]. В русскоязычной литературе определение термина «сейсмиты» в контексте применения для континентальных толщ было приведено А.С. Гладковым и О.В. Луниной [2010, с. 253] — «это вторичные сейсмогенные дислокации, сформированные в результате развития процессов разжижения и флюидизации горизонтально залегающих осадочных толщ (слоев) под воздействием сейсмических волн и вибраций». Но многие специалисты [Topal, Özkul, 2014; и др.] к сейсмитам относят и хрупкие сейсмогенные деформации. Автор настоящего сообщения придерживается второй точки зрения.

Работами многочисленных исследователей было показано, что последствия землетрясений отражаются в морских палеобассейнах с терригенной седиментацией в виде следов собственно самих сейсмитов, а также в виде феноменов последующего (или одновременного) гравитационного передвижения больших масс осадков в глубоководные участки осадконакопления, в том числе по каньонам и оврагам [Allen, 1982; Mills, 1983; Seilacher, 1984; Montenat et al., 2007; Sennikov et al., 2008; Ghienne et al., 2019; Сенников и др., 2020; Velazquez-Bucio et al., 2021]. Очевидно, землетрясения активизируют на склонах подводных поднятий процессы возникновения оползней и мутьевых потоков [Clare et al., 2018; и др.].

Сейсмиты в осадочных последовательностях могут быть установлены: а) по хрупким деформациям в виде образования сейсмических разрывов и глыбовых (и валунных) брекчий («псевдопсифиты»), а также б) по пластическим деформациям слабосцементированных (нелитифицированных) осадков — SSDS, включая деструктурированные осадки с хаотическим (или слабозакономерным) распределением псифитовых обломков — «псевдоконгломератов». Основным триггером в запуске пластических деформаций (SSDS) являются инициированные землетрясениями процессы разуплотнения несцементированных осадков, приводящие к значительному уменьшению их вязкости — явлению, близкому к тиксотропности (или соответствующему ей).

## **ЗОНЫ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ТВЕРДЫХ (ПОЛНОСТЬЮ ЛИТИФИЦИРОВАННЫХ) ПОРОД**

Перечислим и продемонстрируем (рис. 6) встреченные в силуре Горного Алтая литологические феномены (объекты), которые могут и должны быть классифицированы либо как текстуры хрупких

Система		Литология		Граптолиты		Хитино-зоны		Криноиды		Другие группы		
Отдел	Ярус	Зона	Пачка, №	Мощность, м								
Силурийская	Лландоверийский	Аэронский	sed <sup>wicki</sup>	IX	30	Аргиллиты серые, в нижней части с углублениями размером 3—5, редко до 10 см	1					
				VIII	15	Аргиллиты слоистые, серые, с «закрутышами» размером от 5—10 до 30—70 см в диаметре. В низах пачки «закрутыши» и обрывки слоёв ориентированы строго по сплоистости. В остальной части пачки из расположение менее закономерно. По количеству «закрутышей» выделяются слои с большим и меньшим их числом. «Закрутыши» сплошены аналогичным с вмещающими их аргиллитами материалом. В среднем на одном квадратном метре площади коренных выходов (перекр сплоистости) расположено до 10 мелких и около 4—5 больших «закрутышей». В верхней части пачки «закрутыши» несколько меньше размеров, чем в нижней	2					
				VII	15	Аргиллиты серые, с углублениями и «закрутышами», редко с обрывками слоёв. В нижней части пачки количество «закрутышей» достигает, как и в четвертой пачке, 90 % объема породы. Далее вверх по разрезу число их сокращается. В нижней половине пачки состав «закрутышей» и обрывков слоёв более известковистый, чем состав вмещающих их аргиллитов (они сложены известковистыми алевролитами). «Закрутыши» и обрывки слоёв обособлены от вмещающей породы и располагаются закономерно, т. е. длинными осмиями по сплоистости, а самыми короткими — перпендикулярно ей. Их размеры: длина 80 см, ширина 30 см и толщина 10 см. В верхней части пачки «закрутыши» и обрывки слоёв редки. Они такого же состава, как и вмещающие аргиллиты, и достигают длины 30—40 см	3					
				VI	50	Аргиллиты серые, с углублениями размером 30—50 см в диаметре	4					
				V	30	Аргиллиты известково-глинистые и глинистые, реже алевролиты глинистые, серые. Наблюдаются полосчатость и 20—30 см плитчатость. Поверхности скальвания гладкие. Характерно чередование более известковистых и более алевритистых слоев. Мощность известковистых слоев 20—40 см, алевритистых 0,5—1,0 м		Streptograptus sp.				
			convolutus	IV	10	Аргиллиты глинистые, серые, с углублениями «закрутышами», реже с обломками слоёв. В низах пачки количество «закрутышей» составляет до 90 % объема породы. Сложены «закрутышами» и обломки слоёв алевритоглинистым, как и вмещающие их аргиллиты, или известково-глинистым материалом. Размер «обломков» до 70 см по длиной оси. В верхах пачки размер и количество таких образований уменьшается. Они в этой части пачки достигают 10—20 см в диаметре. Ориентировка обломков слоёв и «закрутышей» во всей пачке незакономерная		• <i>Stimulograptus sedgwicki</i> (Portlock) • <i>Paradiversograptus capillaris</i> (Carruthers) • <i>Campograptus ex gr. communis</i> (Lapworth) • <i>Pristograptus sp.</i> • <i>Rastrites sp.</i>				
				III	12	Аргиллиты глинистые, серые и зеленовато-серые, массивные, известково-глинистые		• <i>Dicyonema delicatulum</i> Lapworth • <i>Dict. atlantense</i> Semikov • <i>Dicyonema sp.</i>				
				II	15	Алевролиты глинистые, стально-серые, неслоистые, со своеобразными углублениями типа каверн. Углубления напоминают по форме скоруповатую отдельность, достигают диаметра 1 м. Заполнения углублений редко обособляются до самостоятельных, выделяющихся из породы булкообразных тел — «закрутыши», размером до 10 см в диаметре, а также угловатых обломков. Состав «закрутышей» и обломков идентичен составу вмещающих алевролитов. В некоторых местах отмечаются следы волочения в виде мелких складочек у одной из сторон заполнений углублений и «закрутышей»		• <i>Koremagraptus ornatus</i> Bulman • <i>Kor. bulimani</i> Semikov • <i>Metaclinacograptus hughesi</i> (Nicholson) • <i>Hed. kriukensis</i> (Obut) • <i>Orthograptus mutabilis</i> (Ellis et Wood) • <i>Campograptus communis convolutus</i> (Hisinger) • <i>Demistrates convolutus</i> (Hisinger) • <i>Rectograptus sp.</i> • <i>Glyptograptus sp.</i>				
				I	15	Аргиллиты глинистые, массивные, реже среднеслоистые, серые. В целом характерна хорошая сортировка материала		• <i>Conodictina aff. oelandica silurica</i> Taug. et Jekh. • <i>Pentagonocycloceras aff. borealis</i> Yelt.				
										• Табуляты • Ругозы • Брахиоподы		

Рис. 2. Строение и распространение фауны в разрезе Гора Черная.

1 — аргиллиты, 2 — алевролиты, 3 — «закрутыши» («закатыши», «рулеты»), 4 — обломки слоев.



**Рис. 3. Строение и распространение фауны в разрезе Первые Утесы.**

Усл. обозн. см. на рис. 2.

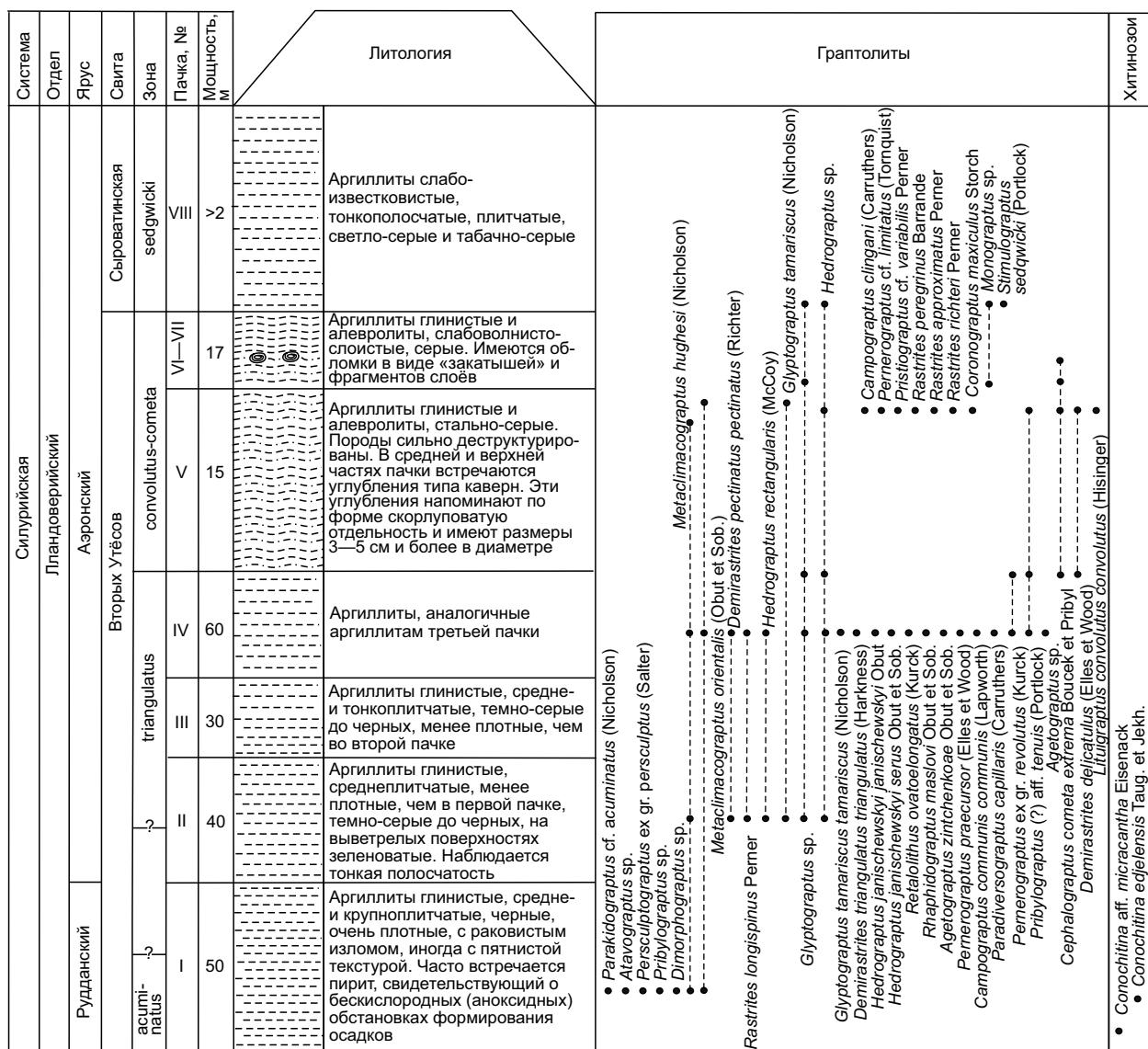
деформаций, либо как текстуры SSDS. К первым из перечисленных текстур относятся наблюдаемые в разрезе сближенные трещины в литифицированных слоях без смещения блоков друг относительно друга. Такие сейсмические разрывы расположены субпараллельно друг другу на расстоянии от 5—10 см до 0.5—0.7 м (см. рис. 6, фиг. 1, 2). Они не проходят в вышележащие слои несцепментированных (нелитифицированных) осадков — «затухают» в их пограничном интервале.

Также последствия хрупких конседиментационных сейсмических деформаций демонстрируют хаотичные брекции (см. рис. 6, фиг. 4), состоящие из неокатанных, неориентированных обломков псевфитовой размерности. Такие обломки сформировались за счет сейсмодислокаций полностью литифицированных слоев, разрушивших их на отдельные фрагменты. Залегающие над ними слабосцепментированные осадки вышележащего слоя при воздействии на них тех же сейсмогенных процессов разуплотняются (разжижаются) и перемешиваются с нижележащими неокатанными обломками слоев, в результате чего формируются брекции. По морфологии среди таких обломков брекций доминируют обладающие удлиненной, четырехугольной, призматической формой, однако имеются и немногочисленные обломки неправильной многоугольной формы. Размеры таких обломков, как правило, достигают 50—70 см по длинной оси, 15—20 см по короткой оси и мощностью 5—10 см. Для некоторых пачек с брекциями характерна слабая ориентировка обломков вдоль слоя, в других она отсутствует.

Механизм хрупкой деформации в твердых породах и процесс разуплотнения перекрывающих их несцепментированных (нелитифицированных) слоев, с превращением последних в деструктурированные образования, имеют одну природу — сейсмические толчки.

#### ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ТЕКСТУРЫ В НЕСЦЕМЕНТИРОВАННЫХ ОСАДКАХ — SSDS

Текстуры пластических деформаций несцепментированных (нелитифицированных) осадков (SSDS) в рассматриваемом алтайском силурском материале достаточно разнообразны. Они представлены: 1) деструктуризованными (турбированными) слоями (см. рис. 6, фиг. 7); 2) комковатыми поверхностями на границах слоев, «вздыбленными» сейсмическими толчками (см. рис. 6, фиг. 7, 9); 3) микроХолмиками, следами продолжения хрупких трещин в нижележащих слоях к верхним поверхностям перекрывающего слоя несцепментированных осадков (см. рис. 6, фиг. 11); 4) «подвернутыми» слоями, образованными в результате сейсмических толчков, при «вспахивании» ими за счет горизонтального движения соседних участков с нелитифицированными осадками (см. рис. 6, фиг. 10); 5) текстурами обрушения слаболитифицированных осадков, приподнятых во время сейсмических толчков, без их масштабного последующего перемещения (см. рис. 6, фиг. 9); 6) округло-линзовидными стяжениями известковистых аргиллитов, сформировавшихся в ходе постсейсмических процессов активизации перераспределения карбонатного материала вокруг микроцентров его повышенного первоначального содержания (см. рис. 6, фиг. 7).



**Рис. 4. Строение и распространение фауны в разрезе Вторые Утесы.**

Усл. обозн. см. на рис. 2.

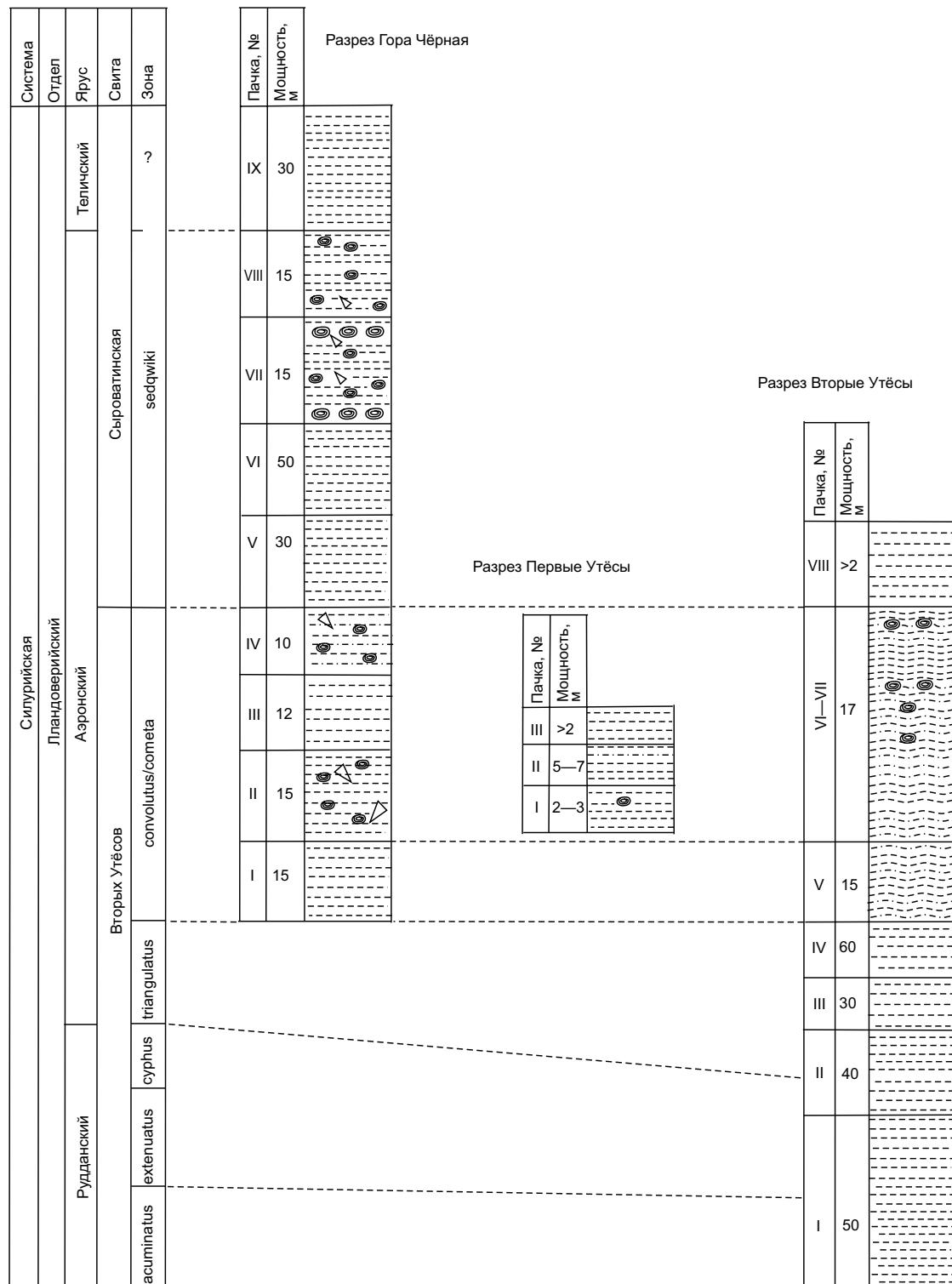
Изучение алтайского материала показало, что значительная часть из рассмотренных объектов имеет многоэтапную природу своего образования (см. рис. 6, фиг. 4, 8, 12, 13; рис. 7), например, следы хрупких деформаций в виде сформированных ими обломков из литифицированных слоев, находящихся в матриксе турбированных слоев.

### ПОДВОДНО-ОПОЛЗНЕВЫЕ ТЕКСТУРЫ

Параллельно с процессами хрупких и пластичных деформаций терригенных аэронских алтайских осадочных образований происходил процесс образования подводных оползней. Причиной оползнеобразования, вероятнее всего, была та же самая сейсмическая активность. Классическим примером оползневых текстур в аэропне Алтая являются «закрутчиши» — «псевдоконгломераты», образование которых происходило при сходе вниз массы осадков с наклонных склонов поднятий в подводные понижения, включая и слабосцементированные, нелитифицированные слои, а триггерами к старту их схода в виде лавин и в виде перекатывающихся шаров и рулетов служили сейсмические толчки (см. рис. 6, фиг. 5).

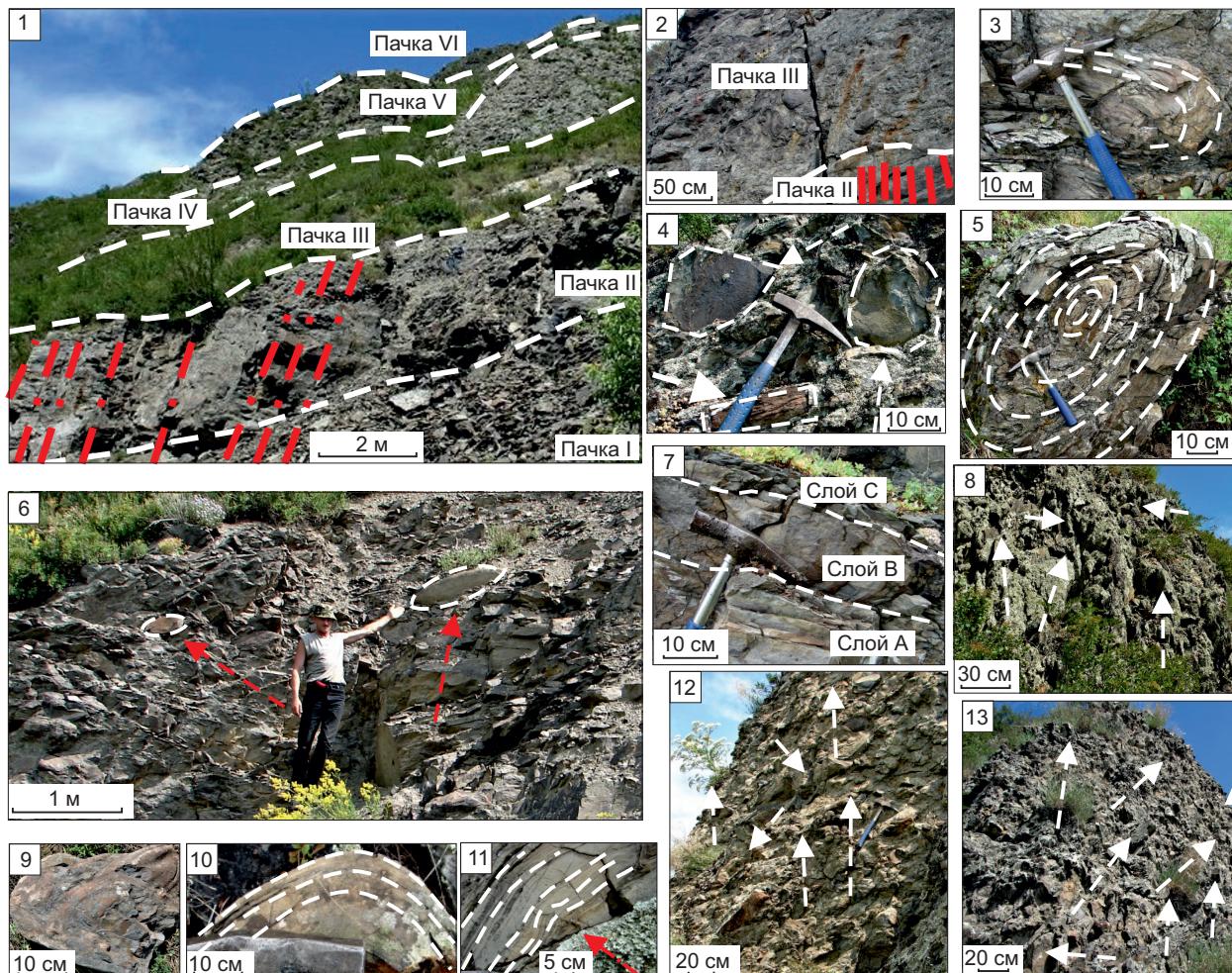
Установленная при изучении алтайского материала локализация конечных продуктов схода подводных лавин в достаточно ограниченной по площади палеоакватории (район с. Чинета) свидетельствует об их накоплении в какой-то отрицательной морфологической структуре дна аэропнного Алтайского оса-

дочного бассейна, достаточно четко ограниченной от соседствующих структур. Такой структурой могла быть либо впадина, либо каньон. Отсутствие срезаний в виде косых примыканий пачкой пород подводно-оползневого генезиса, залегающих ниже слоев, а также отсутствие карманов в кровле нижележащих слоев свидетельствует: а) о малой скорости движения подводных лавин; б) о короткой дистанции перемещения оползней; в) о сильно разуплотненной общей массе перемещающихся образований.



**Рис. 5. Корреляция по граптолитовым зонам алтайских лландоверийских разрезов с феноменами сейсмитов.**

Усл. обозн. см. на рис. 2.



**Рис. 6. Феномены алтайских аэронасских сейсмитов и подводных оползней.**

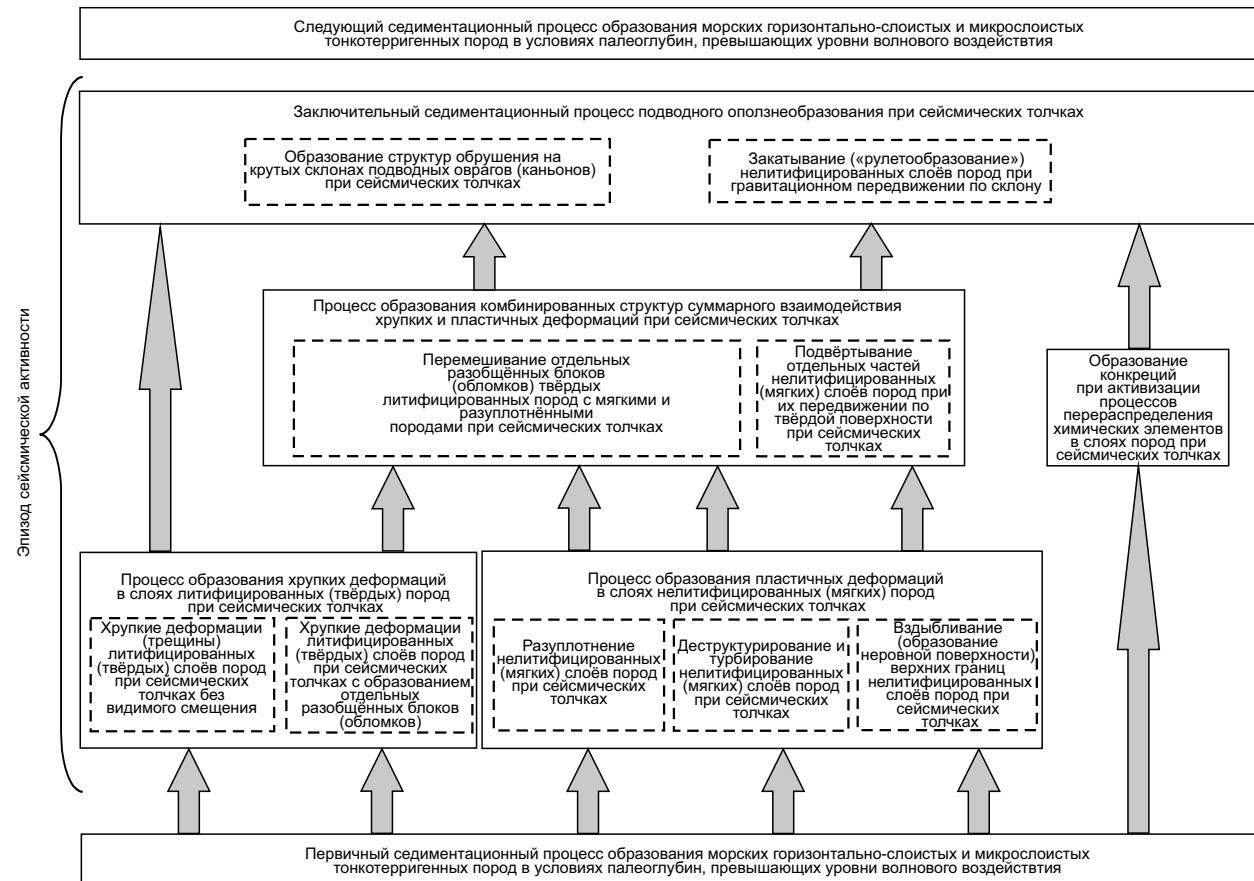
Фиг. 1, 2, 4 — разрез Гора Черная, фиг. 3, 5 — разрез Россыпногорский.

Фиг. 1 — общая панорама разреза; фиг. 1, 2 — белые штриховые линии отвечают границам пачек, красные штрихпунктирные линии показывают разрывные нарушения (трещины) в твердых (литифицированных) тонкотерригенных породах первой и второй пачек, затухающие в несцепментированных (нелитифицированных) тонкотерригенных осадках вышележащей третьей пачки; фиг. 3 — подвернутый край несцепментированного (нелитифицированного) слоя осадков при его движении; фиг. 4 — угловатые обломки твердых (литифицированных) тонкотерригенных пород при хрупких деформациях, погруженные в матрикс турбированых несцепментированных тонкотерригенных осадков; фиг. 5 — гигантский «закрутыш» («рулет»), образовавшийся при перекатывании по поверхности нелитифицированного слоя тонкотерригенных осадков.

Фиг. 6, 8, 12, 13 — разрез Гора Черная, фиг. 7, 9, 10, 11 — разрез Россыпногорский. Белыми прерывистыми линиями отмечены границы слоев и микрослоев. Белыми стрелками показаны обособленные от матрикса «закатыши» («закрутчи») несцепментированных (нелитифицированных) осадков и угловатые обломки твердых (литифицированных) пород в разуплотненном тонкотерригенном матриксе — образования подводных оползней. Фиг. 6 — красными стрелками показаны округло-линзовидные стяжения известковистых аргиллитов; фиг. 7 — турбированные слои несцепментированных (нелитифицированных) осадков с деформациями поверхностей верхних границ; фиг. 8, 12, 13 — угловатые обломки твердых (литифицированных) тонкотерригенных пород при хрупких деформациях, а также «закатыши» («рулеты»), погруженные в матрикс турбированных несцепментированных тонкотерригенных осадков в пачках подводно-оползневого генезиса; фиг. 9 — серия наложенных пластичных деформаций несцепментированных (нелитифицированных) слоев осадков; фиг. 10 — подвернутый край несцепментированного (нелитифицированного) слоя осадков при его движении; фиг. 11 — красной стрелкой показано направление воздействия хрупкой деформации нижележащего твердого слоя на верхнюю поверхность нелитифицированного слоя, с дальнейшей нивелировкой при фоновой тонкотерригенной седиментации.

#### ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

Все перечисленные выше текстуры хрупких и пластичных деформаций наблюдаются в разрезе Гора Черная в виде узкой полосы, по форме подобной средней части подводного оврага или каньона (см. рис. 1). Как и в современных морских каньонах, в их проксимальных частях осадконакопление, как



**Рис. 7. Последовательность преобразований алтайских аэронасских морских терригенных пород при конседиментационных сейсмических процессах.**

правило, не происходит, и такие части служат транзитным коридором для гравитационного перемещения терригенных осадков. В целом все пачки разреза Гора Черная сформировались на относительно ровных участках на слабонаклоненном пологом дне (тальвеге) каньона (см. рис. 2). Один из концов этого подводного каньона фиксируется в разрезе Первые Утесы (см. рис. 3), расположенном в направлении на юго-юго-запад на расстоянии 1.4 км от горы Черная. В разрезе Первые Утесы на том же стратиграфическом уровне аэронаского яруса (вероятно, граптолитовая зона *sedgwicki*) наблюдаются: а) деструктурированные породы; б) комковатые поверхности на границе слоев; в) «закрутыши». В 300 м от разреза Первые Утесы расположен разрез Вторые Утесы (см. рис. 4), в котором найдены деструктурированные породы, редкие «закрутыши», «вложенная» скорлуповатая отдельность, часто сопровождаемая «вложенными» друг в друга кольцами из продуктов образования минералов при проникновении по трещинам растворов (явление Лизеганга) [Геологический словарь..., 2011]. Такие природные геометрические рисунки формируются в процессе образования новых минеральных соединений под воздействием многочисленных факторов. Автор настоящего сообщения склонен считать, что сейсмическое воздействие могло активизировать процесс образования колец Лизеганга. Опубликованная литература по вопросам, связанным с химическими реакциями и механизмом образования колец Лизеганга, достаточно обширна и требует специального рассмотрения, далеко выходящего за рамки тематики настоящего сообщения. Можно только сослаться на такие широко цитируемые работы, как [Fractal..., 1994; Krug, Brandtstdter, 1999].

В том же направлении на расстоянии 4.4 км южнее разреза Гора Черная в разрезе Россыпногорский на аэронаском стратиграфическом уровне фиксируются деструктурированные (турбированные) породы (см. рис. 6, фиг. 7), подвернутые слои (см. рис. 6, фиг. 3, 10) и гигантские (до 1.2—1.3 м в диаметре) «закрутыши» (см. рис. 6, фиг. 5).

Положение аэронаской части разреза Россыпногорский реконструируется как фрагмент подводного каньона, расположенный вблизи его боковой стороны, имеющей более крутые углы наклона, чем относительно пологий на примыкающем участке тальвег каньона. Гигантские «закрутыши», безуслов-

но, не могли бы сохраниться при любом способе гипотетического движения по дну подводного каньона на расстоянии более 4 км. Именно на этом расстоянии ныне расположены друг от друга средняя часть каньона (разрез Гора Черная) и терминальная (или проксимальная) часть каньона (разрез Россыпногорский). Если учитывать современный складчатый характер геологического строения района исследований, то в аэронское время это могла быть и большая дистанция. В связи с этим предполагается, что объекты гигантских «псевдопсефитов» разреза Россыпногорский скатились с бокового склона терминальной части каньона. Во внутреннем строении гигантских «закрутышей» разреза Россыпногорский наблюдается следующая закономерность. Центральные их части (диаметр до 20—25 см) представляют собой материал несцементированных осадков в нелитифицированных слоях с мощностью от 1—2 до 3—5 см, фрагменты средних частей «закрутышей» (диаметр от 25—50 до 70 см) сложены материалом нелитифицированных слоев мощностью 3—5, редко 10 см, а дистальные части таких объектов (диаметр от 0.7 до 1.3 м) образованы захваченными нелитифицированными слоями мощностью от 7—10 до 15—20 см.

Общее направление движения (перекатывания) «закрутышей» (с формированием «рулетов») в разрезе Гора Черная определено по их коротким осям (вдоль слоистости). Представительная выборка измерений показала [Sennikov et al., 2008] доминирующее направление с юга на север в современных координатах, т. е. вдоль предполагаемой оси подводного каньона (см. рис. 1). Для однозначного предположения о направлении понижения дна изученного палеоканьона требуется получение дополнительных данных.

## ДИСКУССИЯ

При отсутствии возможностей контроля научных выводов, применяемого четвертичными геологами-палеосейсмологами, таких как наблюдаемая современная сейсмичность региона, свидетельства исторической летописи и т. д., на фоне естественного отсутствия (для квартера) или маломасштабности (для кайнозоя) последующих, могущих случиться в будущем тектонических постседиментационных пликативных и дизъюнктивных деформаций, изучение палеозойских объектов и выводы о проявлениях в них конседиментационной сейсмичности можно сопоставлять только при морфологическом сравнении палеозойских и кайнозойских объектов. Большинство из вышеперечисленных текстур, зафиксированных в аэронских алтайских разрезах у с. Чинета, морфологически и в ряде случаев по размерам идентичны сейсмическим феноменам в кайнозойских морских и континентальных толщах [Деев и др., 2009, 2013; Гаврилов, 2017, 2018; и др.].

В отношении генезиса наблюдаемых в изученных силурийских разрезах деформаций, альтернативного по отношению к рассмотренному палеосейсмическому, необходимо отметить следующее. Широко наблюдаемые в Алтае-Саянской складчатой области, к которой относится Горный Алтай, пликативные и дизъюнктивные деформации в осадочных палеозойских толщах развиты достаточно широко. Они являются следствием тектонических событий позднепалеозойско-раннемезозойского возраста, сформировавших современную структуру Алтае-Саянской складчатой области в результате последовательного причленения к Сибирскому континенту (кратону) разновозрастных орогенных поясов [Добрецов, 2003]. Многочисленные разноранговые и разноориентированные разрывные нарушения в виде крупных деформаций в северо-западной части Горного Алтая имеют преобладающее северо-западное направление [Государственная..., 2001]. В складках ранней генерации позднепалеозойско-раннемезозойского тектонического этапа преобладает послойный кливаж, а для складок поздней генерации — кливаж осевой плоскости. Направление, секущее трещинами кливажа (например, кливажа осевой плоскости складок) поперек всей пачки в разрезах, независимо от их литологического состава и размера псевдопсаммитовых обломков, рассматривалось в изучаемых алтайских разрезах как молодые деформации — позднепалеозойско-раннемезозойские. Они заведомо наложены как на ненарушенные, так и на дислокированные в силуре осадочные последовательности. В ряде случаев были затруднения при разделении всего набора наблюдаемых дизъюнктивных дислокаций на предполагаемые конседиментационные силурийские и последующие позднепалеозойско-раннемезозойские.

Рассматривая алтайские аэронеские специфические текстуры в терригенных породах, интерпретируемые как сейсмиты и связанные с ними подводные оползни, соскальзывающие в подводные каньоны, совершенно необходимо отметить следующее. По данным международной группы исследователей [Loydell, 1998; Munnecke et al., 2010; Lehnert et al., 2010], во второй половине граптолитовой зоны sedgwicki верхов аэронаского яруса произошла регрессия с падением уровня Мирового океана на 50 м, именуемая глобальным седиментационным событием Sandvika. Не вызывает сомнений, что столь масштабное падение уровня моря должно было осушить значительные площади мелких акваторий Алтайского аэронаского шельфа и сопровождаться процессами формирования отрицательных форм рельефа с образованием проксимальных частей оврагов и каньонов.

Подобных отмеченным выше литологическим феноменам в силурийских разрезах других районов Горного Алтая пока не выявлено. В то же время можно отметить, что в разрезе Техтен в Ануйско-

Чуйской структурно-фацальной зоне Горного Алтая в сырватинской свите, на уровне аэронаского яруса среди аргиллитов и алевропесчаников, зафиксирована пачка внутриинформационных конгломератов [Sennikov et al., 2008; Сенников и др., 2019]. Формирование такого псевфитового геологического тела было обусловлено эпизодом резкой, непродолжительной активизации процессов денудации в близлежащем материнском континентальном источнике поставки обломочного материала в рассматриваемую морскую палеокваторию. Такой процесс возможно был усилен отмеченным выше глобальным регressiveным событием Sandvika. В то же время тригером такой активизации могла быть синхронная палеосейсмическая активность.

Необходимо подчеркнуть, что в разрезе Гора Черная имеются пачки недислоцированных пород, практически не затронутые ни конседиментационными, ни постседиментационными процессами сейсмичности. Судя по чередованию в разрезе Гора Черная пачек с сейсмитами и пачек с нормально пластующимися, с четкой субпараллельной слоистостью и микрослоистостью, недеформированными слоями терригенных пород можно сделать следующее предположение. Эпизоды землетрясений в данной акватории Алтайского силурийского осадочного бассейна в аэронаском веке случались неоднократно. Судя по полученным данным, произошло не менее двух эпизодов землетрясений на заключительной стадии граптолитовой зоны *convolutus* и один, возможно, два сближенных эпизода в начальной стадии граптолитовой зоны *sedgwicki*. Если учитывать абсолютную продолжительность силурийских граптолитовых зон — *convolutus*, определенную как 0.87 млн лет, и *sedgwicki*, равную 360 тыс. лет [Sandler et al., 2011; Gradstein et al., 2020], то эта серия из четырех эпизодов тектонической активности произошла в интервале 100—300 тыс. лет.

С геодинамических позиций силурийский Алтайский осадочный бассейн общепризнанно относится к пассивной шельфовой окраине Сибирского палеоконтинента [Елкин, Сенников, 1998; Sennikov et al., 2008]. Полученные в результате проведенных исследований материалы, свидетельствующие об эпизодах сейсмической активности в Алтайском морском бассейне в аэронаское время, заставляют вернуться к обсуждению этого вопроса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые в нижнем палеозое Сибири выявлены и описаны конседиментационные силурийские сейсмодислокации.
2. В изученных аэронаских терригенных разрезах в верхней части граптолитовой зоны *convolutus* и в нижней части зоны *sedgwicki* зафиксированы следы хрупких и пластичных деформаций палеосейсмической конседиментационной природы.
3. По серии разрезов в западной части Горного Алтая реконструирован аэронаский морской каньон, заполненный осадочными образованиями подводно-оползневого генезиса.
4. Изучение алтайских аэронаских разрезов тонкотерригенных пород показало, что большинство объектов имеет многоэтапную (минимум двухактную или трехактную) природу своего образования, например, следы хрупких деформаций в матриксе турбированых слоев; или SSDS текстуры после своего перезахоронения в подводно-оползневых образованиях и т.д.
5. Общая продолжительность серии эпизодов сейсмической активности в аэронаское время в Алтайском седиментационном бассейне составила не менее 100—300 тыс. лет.

Автор осознает дискуссионность некоторых положений статьи. Совершенно ясно, что рано считать окончательным решение проблемы определения точного генезиса псевдопсевфитовых образований лландоверийского возраста на Горном Алтае. Представляется, что предпринятый в настоящей статье анализ этой проблемы с позиций палеосейсмической интерпретации имеющихся материалов с использованием современных лито- и биостратиграфических данных позволит в дальнейшем существенно расширить возможности геологических обобщений и палеогеографических реконструкций.

Работа выполнена в рамках госзадания РАН по фундаментальным научным исследованиям — проект FW ZZ-2022-0003 «Закономерности глобальных и региональных эволюционных изменений палеозойских осадочных бассейнов Сибири и Арктической зоны России в различных геодинамических и климатических обстановках; состав населявших их пелагических и бентосных палеобиот; палеогеографическое распространение фаунистических комплексов в разнофациальных отложениях; региональные стратиграфические схемы».

## ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев В.П.** Атлас субаквальных фаций нижнемеловых отложений Западной Сибири (ХМАО-ЮГра). Екатеринбург, Изд-во УГГУ, 2014, 284 с.
- Атлас** текстур и структур осадочных горных пород. Т. 1. Обломочные и глинистые породы. М., Недра, 1962, 574 с.

**Гаврилов Ю.О.** Отражение сейсмических палеособытий в мезозойско-кайнозойских терригенных толщах Северного Кавказа // Литология и полезные ископаемые, 2017, № 1, с. 3—24.

**Гаврилов Ю.О.** Конседиментационная сейсмичность и литогенез в бассейнах подвижных областей // Осадочная геология Урала и прилежащих регионов: сегодня и завтра. (Материалы 12-го Уральского литологического совещания). Екатеринбург, Изд-во ИГГ УрО РАН, 2018, с. 63—69.

**Геологический словарь.** Т. 2. СПб, Изд-во ВСЕГЕИ, 2011, 476 с.

**Гладков А.С., Лунина О.В.** Сейсмиты юга Восточной Сибири: проблемы и перспективы изучения // Геодинамика и тектонофизика, 2010, т. 1, № 3, с. 249—272.

**Государственная** геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000. Издание второе. Серия Алтайская. М-45-1 (Солонешное). Объяснительная записка. СПб, Изд-во СПб картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2001. 183 с.

**Деев Е.В., Зольников И.Д., Гольцова С.В., Русанов Г.Г., Еманов А.А.** Следы древних землетрясений в четвертичных отложениях межгорных впадин центральной части Горного Алтая // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (3), с. 410—423.

**Деев Е.В., Зольников И.Д., Гуськов С.А.** Сейсмиты в четвертичных отложениях Юго-Восточного Алтая // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (6), с. 703—722.

**Добрецов Н.Л.** Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтая-Саянской области в Урало-Монгольском складчатом поясе (Палеоазиатский океан) // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (1—2), с. 5—27.

**Елкин Е.А., Сенников Н.В.** Палеогеографические и палеоклиматические обстановки в позднем лландовери на территории Алтая-Саянской области и их геодинамическая интерпретация // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (8), с. 1150—1153.

**Лунина О.В.** Влияние напряженного состояния литосферы на соотношения параметров сейсмогенных разрывов и магнитуд землетрясений // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (9), с. 1389—1398.

**Петтиджон Ф.Дж.** Осадочные породы. М., Недра, 1981, 751 с.

**Сенников Н.В.** Граптолиты и стратиграфия нижнего силура Горного Алтая. М., Наука, 1976, 270 с.

**Сенников Н.В., Обут О.Т., Изох Н.Г., Хабибулина Р.А., Родина О.А., Лыкова Е.В., Киприянова Т.П.** Региональная стратиграфическая схема силурийских отложений западной части Алтая-Саянской складчатой области (новая версия) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2019, № 8, с. 69—105.

**Сенников Н.В., Хабибулина Р.А., Гонта Т.В., Обут О.Т.** Лито-, биостратиграфия и условия образования базального горизонта верхоянского терригенного комплекса в Северном Хараулахе // Геология и геофизика, 2020, т. 61 (12), с. 1692—1715.

**Стром А.Л., Никонов А.А.** Соотношения между параметрами сейсмогенных разрывов и магнитудой землетрясений // Физика Земли, 1997, № 12, с. 55—67.

**Allen J.R.L.** Sedimentary structures, v. 2. Developments in sedimentology, 1982, v. 30B. Amsterdam, Elsevier, 663 p.

**Clare M.A., Bas T.L., Price D.M., Hunt J.E., Sear D., Cartigny M.J.B., Vellinga A., Symons W., Firth Ch., Cronin Sh.** Complex and cascading triggering of submarine landslides and turbidity currents at volcanic islands revealed from integration of high-resolution onshore and offshore surveys // Front. Earth Sci., Sect. Sedimentology, Stratigraphy and Diagenesis, 2018, v. 6, Article 223, p. 1—24, doi: 10.3389/feart.2018.00223.

**Du Yuansheng, Gong Shuyun, Han Xin, Wang Jiasheng, Gu Songzhu, Lin Wenjiao.** Silurian seismites in Hanxia, Yumen, North Qilian Mountains, and their tectonic significance // Acta Geol. Sin., 2010, v. 75 (4), p. 385—390, doi: 10.1111/j.1755-6724.2001.tb00056.x.

**Ettensohn F.R., Kulp M.A., Rast N.** Interpreting ancient marine seismites and apparent epicentral areas for paleo-earthquakes, Middle Ordovician Lexington Limestone, central Kentucky // Ancient Seismites / Eds. F.R. Ettensohn, N. Rast, C.E. Brett. GSA Spec. Pap., 2002, v. 359, p. 177—190.

**Fractals and dynamic systems in geoscience** / Ed. J.H. Kruhl. Springer, Berlin, Heidelberg, 1994, 421 p.

**Ghienne J.F., Rasin P., Vandebroucke T.R.A.** High-latitude Upper Ordovician canyons: a record of Pre-Hirnantian glacial lowstands // 13th Int. Symp. on the Ordovician System: Contrib. Int. Symp. (Novosibirsk, Russia, July 19—22, 2019) / Eds. O.T. Obut, N.V. Sennikov, T.P. Kipriyanova. Novosibirsk, Publ. House of SB RAS, 2019, p. 49.

**Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G., Ogg G.M.** The Geologic Time Scale 2020, v. 2. Elsevier, 2020, p. 563—1357.

**Jewell H.E., Ettensohn F.R.** An ancient seismites response to Taconian far-field forces: the Cane Run Bed, Upper Ordovician (Trenton) Lexington Limestone, central Kentucky (USA) // J. Geodyn., 2004, v. 37, p. 487—511.

- Krug H.-J., Brandtstädter H.** Morphological characteristics of Liesegang Rings and their simulations // J. Phys. Chem. A, 1999, v. 103 (39), p. 7811—7820.
- Lehnert O., Männik P., Joachimski M.M., Calner M., Frýda J.** Paleoclimate perturbations before the Sheinwoodian glaciation: A trigger for extinctions during the ‘Ireviken Event’ // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2010, v. 296, p. 320—331.
- Loydell D.K.** Early Silurian sea-level changes // Geol. Mag., 1998, v. 135, p. 447—471.
- McLaughlin P.I., Brett C.E.** Eustatic and tectonic control on the distribution of marine seismites: examples from the Upper Ordovician of Kentucky, USA // Sediment. Geol., 2004, v. 168, p. 165—192.
- Mills P.** Genesis and diagnostic value of soft-sediment deformation structures — A review // Sediment. Geol., 1983, v. 35 (2), p. 83—104.
- Montenat C., Barrier P., d'Estevou P.O., Hibsch C.** Seismites: An attempt at critical analysis and classification // Sediment. Geol., 2007, v. 196, p. 5—30.
- Munnecke A., Calner M., Harper D.A.T., Servais T.** Ordovician and Silurian sea-water chemistry, sea level, and climate: A synopsis // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2010, v. 296, p. 389—413.
- Owen G., Moretti M., Alfaro P.** Recognizing triggers for soft-sediments deformation: current understanding and future directions // Sediment. Geol., 2011, v. 235, p. 133—140.
- Poldsaar K., Ainsaar L.** Recognizing triggers for extensive liquefaction structures in two Early Paleozoic shallow-marine sandstones, NW Estonia: Earthquake shock vs. cyclic storm loading // Extended Summary IGCP Project 591 Field Workshop 2014. Nanjing, Nanjing Univ. Press, 2014, p. 117—119.
- Pope M.C., Read J.F., Bambach R., Hofmann H.J.** Late Middle to Late Ordovician seismites of Kentucky, southwest Ohio and Virginia: Sedimentary recorders of earthquakes in the Appalachian basin // GSA Bull., 1997, v. 109 (4), p. 489—503, doi: 10.1130/0016-7606(1997)109<0489:LMTLOS>2.3.CO;2.
- Roger S.** The occurrence of seismites in the Upper Silurian Whitcliffe Formation of the old Whitcliffe quarry, Ludlow // Proc. Shropshire Geol. Soc., 2017, v. 18, p. 61—73.
- Sadler P.M., Cooper R.A., Melchin M.** Sequencing the graptoloid clade: building a global diversity curve from local range charts, regional composites and global time-lines // Proc. Yorkshire Geol. Soc., 2011, v. 58, Part 4, p. 329—343.
- Seilacher A.** Fault-graded beds interpreted as seismites // Sedimentology, 1969, v. 13 (1—2), p. 155—159.
- Seilacher A.** Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events // Mar. Geol., 1984, v. 55, p. 1—12.
- Sennikov N.V., Yolkin E.A., Petrunina Z.E., Gladkikh L.A., Obut O.T., Izokh N.G., Kipriyanova T.P.** Ordovician-Silurian biostratigraphy and paleogeography of the Gorny Altai. Novosibirsk, Publ. House of SB RAS, 2008, 154 p.
- Simms M.J.** Uniquely extensive soft-sediment deformation in the Rhaetian of the UK: Evidence for earthquake or impact? // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2007, v. 244, p. 407—423, doi: 10.1016/j.palaeo.2006.06.037.
- Topal S., Özkul M.** Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in the Kolankaya Formation, Denizli Basin (SW Turkey) // Sci. World J., 2014, Article ID 352654, p. 1—13, doi: 10.1155/2014/352654.
- Velázquez-Bucio M.M., Garduño-Monroy V.H., Benente L., Filonzi S., Norini G., Michetti A.M., Groppelli G.** Effects of Pleistocene to Holocene seismicity on the landforms and fluvial-lacustrine sequences of the Ixtlahuaca paleobasin, and their possible relation with the Acambay graben: Implications for the seismic hazard assessment of central Mexico // J. South Am. Earth Sci., 2021, v. 110, doi: 10.1016/j.jsames.2021.103336.
- Wallace K., Eyles N.** Seismites within Ordovician–Silurian carbonates and clastics of Southern Ontario, Canada and implications for intraplate seismicity // Sediment. Geol., 2015, v. 316 (1), p. 80—95, doi: 10.1016/j.sedgeo.2014.12.004.
- Wei C., Zhang Sh., Jiang Z., Liu J.** Characteristics and significance of seismite of Silurian in member III at Shahejie Formation // Front. Earth Sci. China, 2007, v. 1 (4), p. 505—513.