



О структурах естественного управления процессами денудации в единой системе транзитных тальвегов

Н.В. Соколова¹✉

АФФИЛИАЦИИ

¹ Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

✉ sona@ipng.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Соколова Н.В. О структурах естественного управления процессами денудации в единой системе транзитных тальвегов // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, № 2. С. 58–75. DOI:10.30533/scidata-2025-16-09.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

узел транзитных тальвегов, структура естественного управления процессами денудации, режим ротации Земли вокруг своей оси, изменение скорости вращения Земли, геологическая среда, слабое звено транзитного тальвега

АННОТАЦИЯ

В статье показана необходимость создания геотехнологий, адаптированных к непрерывным естественным изменениям геологической среды. Для решения этой проблемы требуются данные о транзитных тальвегах, индикаторах господствующего процесса усиления уплотнения вещества к центру Земли, о характере ее ротации вокруг своей оси и движения по орбите. Выявлены системы транзитных тальвегов на рассматриваемом участке Охотоморской нефтегазоносной провинции, определены границы сфер узлов транзитных тальвегов (структур естественного управления процессами денудации) разного ранга. Установлены особенности развития негативных процессов (землетрясений, зон затопления и др.) с учетом выделенных структур и ротационного фактора. Как показало

исследование, все (и негативные) геологические процессы целесообразно рассматривать в рамках структур естественного управления процессами денудации разного ранга. В этом случае появляется возможность выявления закономерностей и использования этих данных для разработки новых эффективных геотехнологий. Поскольку в узле транзитных тальвегов реализуется первый уровень естественного управления гидро- и литодинамическими потоками (один транзитный, а другой — активный приток к нему), то каждая сфера такого узла обладает определенной степенью уязвимости по отношению к развитию в ней негативных геологических процессов. Полученные новые данные о структурах естественного управления процессами денудации разного ранга могут быть полезными для разработки инновационных геотехнологий, способствующих увеличению эффективности землепользования, оптимизации природно-хозяйственных взаимосвязей, а также препятствующих образованию обширных зон затопления и усилению сейсмичности.

1 Введение

В настоящее время повсеместно фиксируются изменения геологической среды, при этом в каждой точке земной поверхности они качественно и количественно разные. Наряду с подъемом уровня воды в океане из-за таяния ледников наблюдается сокращение площади Каспийского моря, обмеление Волги и ее притоков.

Экологические проблемы актуализируются из-за увеличения числа негативных для человека процессов (землетрясений, наводнений, климатических аномалий и др.). Например, формирование зон глубоких землетрясений определяется реологической расслоенностью литосферы, наличием волноводов и тонко расслоенных сейсмических границ [1]. На земной поверхности действуют противоположные процессы усиления сноса и усиления аккумуляции вещества [2].

В связи с этим сейчас остро стоит проблема разработки инновационных геотехнологий, обеспечивающих одновременно с эксплуатацией природных ресурсов улучшение качеств геологической среды. В России и других странах не хватает научной информации, ориентированной на разработку таких геотехнологий (в том числе и нефтегазовых). В частности, требуются данные о тех непрерывных геодинамических процессах высокого ранга, без которых Земля не может развиваться: господствующем усилении уплотнения вещества к центру Земли, вращении ее вокруг своей оси и движении по орбите.

В ходе изучения геологических процессов высокого ранга [3] были выявлены уровни естественного управления процессами денудации и аккумуляции земного вещества. Такие уровни необходимо учитывать в практической деятельности, т. к. они модифицируют (усиливают или ослабляют) антропогенные трансформации геологической среды.

Целью исследования является получение новой системной информации о закономерностях естественного управления процессами денудации разного ранга, что может быть полезно для разработки инновационных геотехнологий, способствующих увеличению эффективности землепользования.

2 Материалы и методы

Для достижения цели исследования решались следующие задачи:

- 1) выявление системных индикаторов господствующего процесса усиления уплотнения вещества к центру Земли на рассматриваемом участке Охотоморской нефтегазоносной провинции;
- 2) определение структуры естественного управления процессами денудации разного ранга с использованием результатов первого этапа исследований;
- 3) установление особенностей развития негативных процессов (землетрясений, зон затопления и др.) с учетом результатов, полученных на первом и втором этапах, и ротационного фактора (информации об изменениях скорости вращения Земли).

При этом использовались имеющиеся данные [3] о системных индикаторах непрерывных геодинамических процессов высокого ранга, без которых Земля не сможет функционировать, а также сведения о землетрясениях магнитудой 5 и выше в пределах рассматриваемой территории¹ и об изменениях скорости вращения Земли вокруг своей оси².

Исследование непрерывных геологических процессов самого крупного ранга показало, что на земной поверхности функционирует единая система транзитных тальвегов, индикаторов господствующего процесса усиления уплотнения вещества к центру Земли. К зонам транзитных тальвегов тяготеют гидро- и литодинамические потоки разного ранга, в том числе реки. Эти проблемы более подробно рассмотрены в работе [3].

Согласно некоторым исследованиям, речная эрозия является недооцененной причиной землетрясений [4]. Одновременно в многочисленных работах высокого уровня, посвященных проблемам изучения землетрясений, не учитываются индикаторы непрерывного господствующего процесса усиления уплотнения вещества к центру Земли. При этом зафиксированные сейсмические события разной магнитуды¹ приурочены к определенным участкам зон транзитных тальвегов. Так, академик Г.А. Гамбурцев³ исследовал взаимосвязи процессов разрушения

¹ Интерактивная карта землетрясений. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sdis.emsd.ru/map/> (дата обращения: 10.01.2025).

² Jones G., Bikos K., Hocken V. A Day is Not Exactly 24 Hours. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://timeanddate.com/time/earth-rotation.html#cals-daylength> (дата обращения: 20.04.2025).

³ Гамбурцев Г.А. Состояние и перспективы работ в области прогноза землетрясений // Бюллетень Совета по сейсмологии АН СССР. 1955. № 1. С. 7–14.

и залечивания разрушенных участков, образования новых спаек, в которых вновь формируются сейсмические события.

Структурные геологические карты на территории Западно-Сибирской⁴, Тимано-Печорской и Охотоморской нефтегазоносных провинций свидетельствуют о том, что на глубоких горизонтах, в том числе фундаменте, действуют свои системы транзитных тальвегов, которые работают как дренажные сети. И эти сети связаны с той, что функционирует на земной поверхности.

Самым крупным гидро- и литодинамическим потоком на земной поверхности, который связан с непрерывной ротацией Земли вокруг своей оси и движением ее по орбите (у них одно направление вращения), является течение Западных Ветров (ТЗВ), окаймляющее Антарктиду⁵. Значимость и функции этого мощного природного явления пока недооцениваются.

Моделирование изменений непрерывного движения Земли показывает, что только одна система глобальных гидро- и литодинамических потоков на земной поверхности, состоящая из ТЗВ и двух его активных противоположных (по направлению) притоков в Атлантическом и Тихом океанах, не обеспечивает устойчивость вращения планеты. Кроме того, у Земли имеются две противоположные самые глубокие точки⁵ в Марианской впадине (–10,9 км) и желобе Пуэрто-Рико (–9,2 км), образующие своеобразный балансир, который усиливает устойчивость Земли при ее ротации и движении по орбите в одном направлении. При этом неслучайно транзитный тальвег, в зоне которого функционирует атлантический приток ТЗВ, не проходит через впадину Пуэрто-Рико, а транзитный тальвег, в зоне которого функционирует тихоокеанский приток, проходит через Марианскую впадину. Эта важная особенность взаимосвязи данных противоположных транзитных тальвегов должна быть изучена очень глубоко, поскольку, по-видимому, связана с непрерывной динамикой внутреннего ядра планеты.

При ротации Земли вокруг своей оси фиксируются два режима дренирования земной поверхности [3]. При первом усиливается тихоокеанский приток ТЗВ и одновременно ослабляется атлантический. При втором режиме, наоборот, усиливается атлантический приток ТЗВ и ослабляется тихоокеанский. Фиксируются пределы действия рассматриваемых противоположных притоков ТЗВ в Беринговом проливе.

Выявлены уровни естественного управления процессами денудации. К первому такому уровню относится узел транзитных тальвегов, в котором функционирует транзитный гидро- и литодинамический поток и его активный приток. Фиксируется сфера влияния (воронка) данного узла. В [3] приведена единая система таких сфер впервые с учетом естественного управления процессами

⁴ Геология и полезные ископаемые России: в 6 т. / гл. ред. В.П. Орлов. Т. 2: Западная Сибирь. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 477 с.

⁵ Атлас мира / отв. ред. А.Н. Баранов. М.: ГУГК при СМ СССР, 1954. 284 с.

денудации в каждом узле транзитных тальвегов. Подробно также показаны подобные сферы разного ранга в атлантической воронке первого ранга.

Согласно данным об изменениях скорости вращения Земли⁶, фиксируются периоды усиления вращения и связанные с ними периоды его замедления, которые характеризуют и неровности орбитального пути, по которому движется планета. Известно, что землетрясения часто происходят при замедлении вращения Земли [5].

3 Результаты и обсуждение

Как показали исследования, все геологические процессы, в том числе негативные для человека, целесообразно рассматривать в рамках границ структур естественного управления процессами денудации разного ранга. В этом случае появится возможность выявления их закономерностей и использования этих данных для разработки новых эффективных геотехнологий. В статье [3] показаны особенности развития атлантической сферы узла 1 транзитных тальвегов, расположенного в Южно-Сандвичевой впадине, где соединяются ТЗВ и его атлантический приток. На **рис. 1**, составленном с использованием рис. 1 из статьи [3], на основе Атласа мира⁷ и контурной основы⁸, транзитные тальвеги отображены линиями синего цвета разной толщины.

Тихоокеанская структура естественного управления процессами денудации первого ранга представлена сферой действия узла 2 транзитных тальвегов, где ТЗВ соединяется с его тихоокеанским активным притоком. В данной воронке в соответствующем узле транзитных тальвегов функционирует самый глубокий на земной поверхности базис денудации в Марианской впадине. Подобный узел 3 находится на стыке Индийско-Австралийской и Южно-Австралийской котловин.

На **рис. 1** представлена система сфер узлов транзитных тальвегов разного ранга. Рассматриваемая территория в Охотоморской нефтегазоносной провинции находится в тихоокеанской сфере узла 2 первого ранга; далее — в сферах более низких второго–четвертого рангов с узлом в Марианской впадине, в воронке пятого ранга с узлом транзитных тальвегов в Японской впадине.

В этой сфере развивается и узел 5, с которым связан узел 8 на исследуемой территории, как показано на **рис. 2**, созданном с использованием Атласа мира⁷ на основе физической карты Охотского моря⁹.

6 Jones G., Bikos K., Hocken V. A Day is Not Exactly 24 Hours. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://timeanddate.com/time/earth-rotation.html#calcs-daylength> (дата обращения: 20.04.2025).

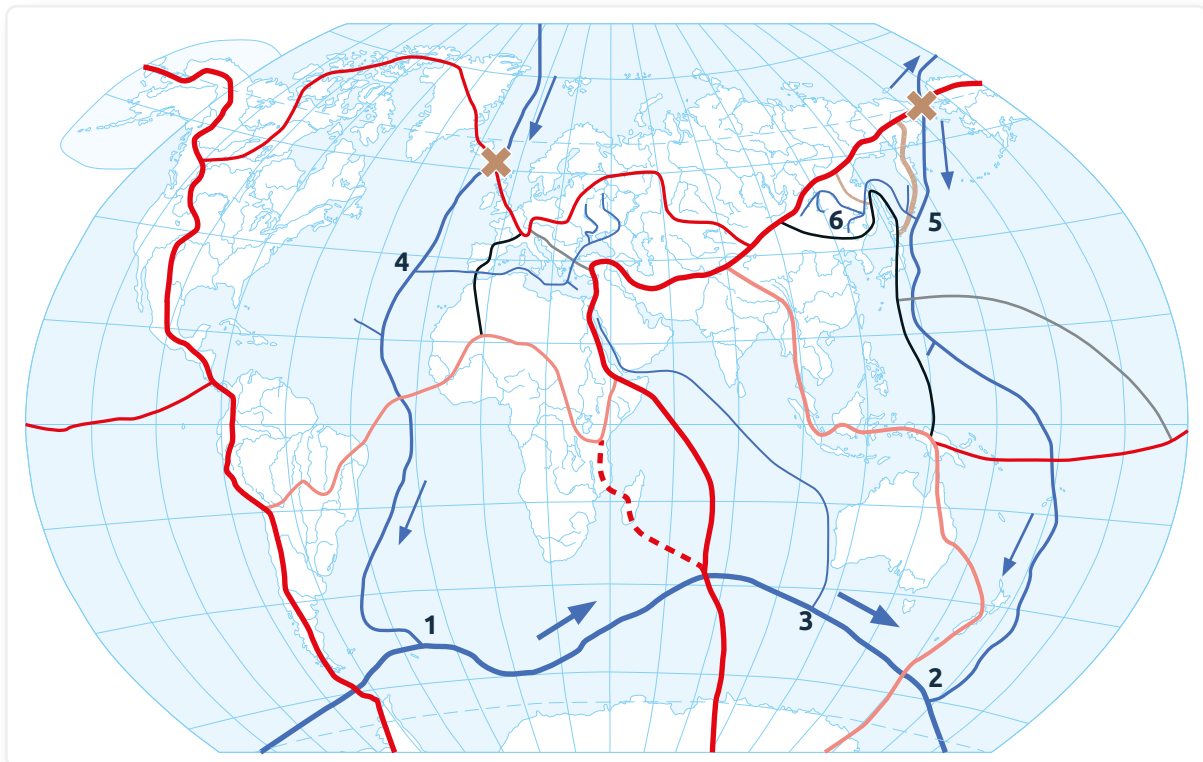
7 Атлас мира / отв. ред. А.Н. Баранов. М.: ГУГК при СМ СССР, 1954. 284 с.

8 Контурная карта мира. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.1maps.ru> (дата обращения: 10.04.2024).

9 Моря России — Охотское море. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geographyofrussia.com/morya-rossii-oxotskoe-more/> (дата обращения: 15.05.2025).

Рис. 1 Границы структур естественного управления процессами денудации с учетом транзитных тальвегов разного ранга на земной поверхности

Fig. 1 Boundaries of natural control structures of denudation processes taking into account transit thalwegs on the earth's surface



Условные обозначения

Зоны транзитных тальвегов, в которых функционируют:

- течение Западных Ветров (ТЗВ)
- активные притоки ТЗВ в Атлантическом и Тихом океанах
- притоки разного ранга к активному атлантическому притоку ТЗВ

Границы соподчиненных сфер узлов транзитных тальвегов разного ранга:

- первого
- второго
- третьего
- четвертого
- пятого
- шестого
- седьмого

Направление:

- ➔ ТЗВ (совпадающее с направлением вращения Земли вокруг своей оси)
- ➔ активных притоков ТЗВ

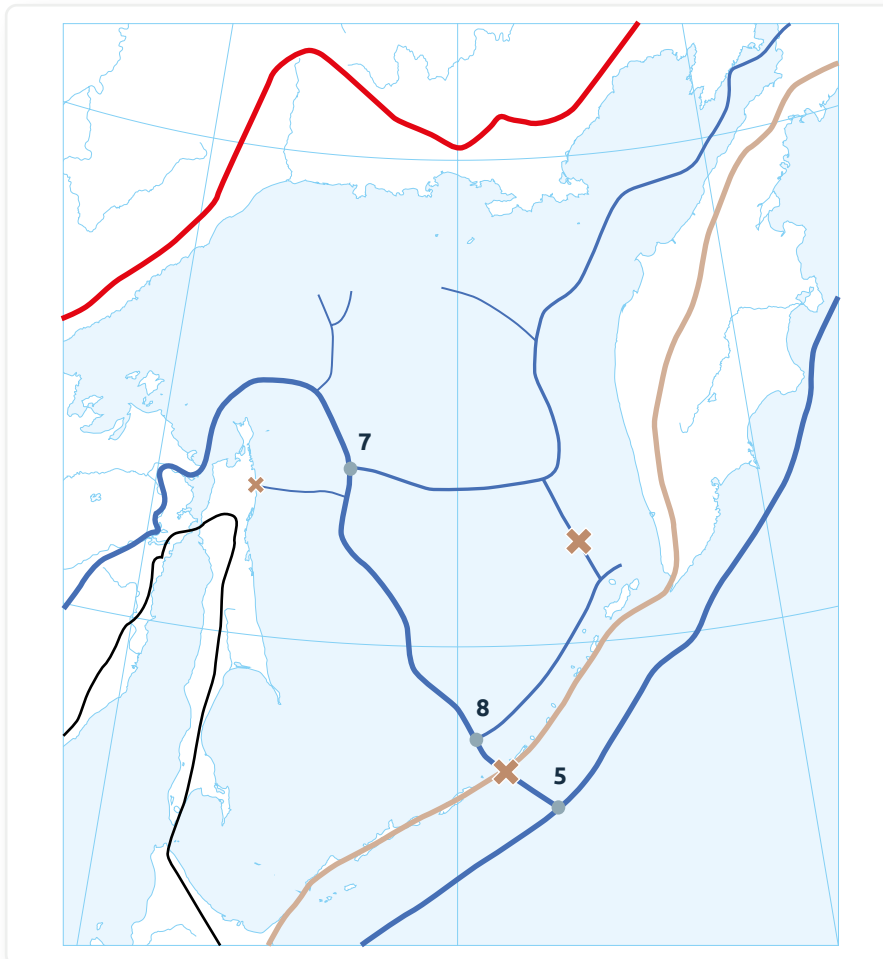
Номера узлов сочленения соподчиненных транзитных тальвегов и гидро- и литодинамических потоков:

- 1 ТЗВ и атлантического активного притока
- 2 ТЗВ и тихоокеанского активного притока
- 3 ТЗВ и его крупного притока в Индийском океане
- 4 атлантического активного притока ТЗВ с его притоком тихоокеанского притока ТЗВ
- 5 тихоокеанского притока ТЗВ с притоком, действующим в Охотском море
- 6 реки Амур с ее притоком Уссури

- ✕ Слабые звенья транзитных тальвегов, от которых зависит развитие сферы самого крупного их узла в котловине Северного Ледовитого океана

Рис. 2 Латеральная дренажная сеть каналов в зонах транзитных тальвегов разного ранга в Охотоморской структуре естественного управления шестого ранга, связанной с тихоокеанским притоком ТЗВ в узле 5

Fig. 2 Lateral drainage network of channels in the zones of transit thalwegs of different ranks in the Okhotsk Sea natural control structure of the 6th rank, associated with the Pacific tributary of the West Wind Drift in node 5



Условные обозначения

— Транзитные тальвеги разного ранга

Границы сфер узлов транзитных тальвегов разного ранга:

- первого
- четвертого
- шестого

Слабые звенья зон транзитных тальвегов разного ранга:

- ✕ между узлами 5 и 8, а также близ берегов полуострова Камчатка (локализация 34 землетрясений)
- ✕ на границе сферы узла транзитных тальвегов низкого ранга (Нефтегорское землетрясение 1995 г.)

Узлы сочленения транзитных тальвегов и гидро- и литодинамических потоков:

- 5** тихоокеанского активного притока ТЗВ и его притока в Охотском море
- 7** потока (с его притоком) в Охотском море во впадине Дерюгина
- 8** относительно крупного потока (с его притоком) в южной части Охотского моря, который напрямую связан с узлами 5 и 7

Коричневыми крестами на **рис. 1** и **2** показаны слабые звенья транзитных тальвегов, где возможна активизация процессов денудации. Отдельные узлы транзитных тальвегов разного ранга на **рис. 2** отображены соответствующими голубыми кружками. Развитие котловины Охотского моря зависит от сферы узла 8 шестого ранга (**рис. 1–2**).

Поскольку в узле транзитных тальвегов реализуется первый уровень естественного управления гидро- и литодинамическими потоками (один транзитный, а другой — активный приток к нему), в такой воронке имеются два входа и один выход, которые могут быть выражены количественно по-разному. С учетом этого такие структуры естественного управления процессами денудации будут более или менее уязвимыми. Например, в такой структуре шестого ранга с узлом 8 эти входы относительно обособленные. Транзитным потоком здесь являются Амур (предел его действия фиксируют границы первого и четвертого ранга — красная и черная линии) и его продолжение через узлы 7, 8, 5. Активные притоки в узлы 7 и 8 гораздо слабее, предел их действия на полуострове Камчатка и на Курильских островах обозначает коричневая линия. Выход из данной сферы фиксируется между узлами 5 и 8, соответствующими островами с учетом зоны отмеченного транзитного тальвега в Охотском море. Таким образом, режим развития каждой такой сферы определен в их единой системе, и его можно оптимизировать в определенных пределах.

Внутри сферы узла 8 шестого (и седьмого) ранга в местной впадине Дерюгина функционирует узел 7 транзитных тальвегов, с которым связано уникальное место. Во-первых, оно проявляется слабым звеном зоны транзитных тальвегов у побережья Камчатки (коричневый крест на **рис. 2**). При этом с учетом [6] данное слабое звено фиксируется здесь и на поверхности фундамента. Во-вторых, только в этом слабом звене и его окрестностях зафиксированы землетрясения¹⁰ магнитудой 5 и выше с очагами на очень больших глубинах (от 440 до 668 км).

Был выбран период времени наблюдений с 2010 года по настоящее время. Местное время рассчитывалось по данным конвертера времени из UTC в часовой пояс Петропавловска-Камчатского¹¹. Рассматривались землетрясения магнитудой 5 и выше. За отмеченный период в Охотском море свыше 70% таких землетрясений¹⁰ зафиксированы в окрестности крупного слабого звена в зоне транзитных тальвегов близ побережья Камчатки (**рис. 2**). Ни одного землетрясения такой магнитуды в отмеченный период не было приурочено к другому более крупному слабому звену между узлами транзитных тальвегов 5 и 8, от динамики погружения которого зависит развитие Охотского моря.

¹⁰ Интерактивная карта землетрясений. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sdis.emsd.ru/map/> (дата обращения: 10.01.2025).

¹¹ Datetime360. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://datetime360.com> (дата обращения: 10.01.2025).

Изучение полученной выборки из 34 землетрясений показало, что 20 из них произошли при втором режиме ротации Земли, когда более активным был атлантический приток ТЗВ. 14 землетрясений магнитудой выше 5 зафиксированы при первом режиме ротации Земли, более активном тихоокеанском притоке ТЗВ. Этот режим является компенсационным (но неполным) по отношению ко второму режиму. Больше геодинамических напряжений накапливается при втором отмеченном режиме, и в это время происходят высокомагнитудные сейсмические события в тихоокеанской сфере транзитных тальвегов. Например, 24 мая 2013 года (при замедлении вращения Земли) произошли шесть землетрясений магнитудой от 5,1 до 7,8. Из них пять (в том числе магнитудой 7,8) были при втором режиме ротации планеты. С учетом данных исследования [7], несмотря на глобальность макросейсмического эффекта, землетрясение магнитудой 7,8 тогда ощущалось в ближайших населенных пунктах (Камчатский край) с интенсивностью лишь до 5–6 баллов и поэтому не вызвало разрушений.

Согласно работе [8], замедление вращения планеты сопровождается усилением глобальной сейсмичности с интервалом в несколько десятков лет. На основе некоторых данных¹² выделяются и промежуточные более короткие противоположные периоды увеличения или уменьшения ускорения либо увеличения и уменьшения замедления вращения планеты. Эта информация очень важна, поскольку при замедлении скорости вращения Земли замедляется и ТЗВ. При этом сразу же активизируются два его противоположных притока в Атлантическом и Тихом океанах, усиливается их борьба, и увеличивается сейсмичность определенных участков зон транзитных тальвегов.

Необходимо учитывать также и тот факт, что 6 землетрясений из 34 произошли при ускорении вращения Земли. Как показывают моделирование непрерывного движения Земли, сейсмические данные и данные об изменениях скорости вращения планеты, самые уязвимые моменты для нее могут возникнуть не только при замедлении вращения, но и при очень резком ускорении, при переходах от максимального ускорения к сильному замедлению, и наоборот. Выявляются также особенности изменения вращения Земли на соседних витках орбитального пути в разные годы. Например, наблюдается одинаковый режим изменения скорости вращения Земли (ускорение ее вращения) на одном участке пути, но в разные годы зафиксировано значительное уменьшение его количественных показателей. Одновременно у сопоставляемых по времени и пространству землетрясений может быть разный режим ротации Земли вокруг своей оси. Необходимы фундаментальные исследования неровностей орбиты Земли, которые влияют на изменение скорости вращения планеты.

12 Jones G., Bikos K., Hocken V. A Day is Not Exactly 24 Hours. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://timeanddate.com/time/earth-rotation.html#cals-daylength> (дата обращения: 20.04.2025).

Как уже отмечалось выше, глубина размещения очагов землетрясений в отмеченном слабом звене транзитных тальвегов очень большая и резко отличается от глубины очагов сейсмических событий в других участках воронок более крупного ранга. Характер дренажа территории Охотоморской котловины на земной поверхности (рис. 1, 2) и поверхности фундамента с учетом Атласа мира¹³ и данных исследования [6] существенно различается: на второй развивается не латеральная, а вертикальная дренажная сеть, связанная с более глубокой латеральной, вероятнее всего на поверхности Мохо. Об этом свидетельствуют фрагментарные данные рельефа поверхности Мохо [9] в рассматриваемом районе, причем дренажная сеть, действующая там в зонах транзитных тальвегов, по направлению противоположна той, которая фиксируется на земной поверхности. Согласно работе [10], существует связь формирования зон разуплотнения в недрах с развитием землетрясений на разных глубинах. Широкое и более детальное изучение систем транзитных тальвегов на глубоких горизонтах позволит выявить системы их взаимодействий и возможный механизм поступления глубинных углеводородных флюидов из мантии на более высокие горизонты и подпитки известных отечественных месторождений нефти и газа, которые развиваются в том числе в пределах атлантической воронки на земной поверхности [3].

Кроме землетрясений, связанных с вертикальными системами дренирования, зарегистрированы и другие, которые зависят от латеральных систем дренирования. Для разработки технологий гашения высокомагнитудных землетрясений (хотя бы частичного) целесообразно каждое из них привязать к сфере определенного крупного узла транзитных тальвегов. Внутри этой сферы выделяются конкретные узлы транзитных тальвегов более низкого ранга, к которым приурочено данное сейсмическое событие. В этом случае будут учтены господствующий процесс усиления уплотнения вещества к центру Земли, особенности ее ротации вокруг своей оси и движения по орбите.

Например, 28 мая 1995 года на Сахалине в 01:04 местного времени произошло крупное Нефтегорское землетрясение магнитудой 7,1 [11]. Это землетрясение случилось при значительном замедлении скорости вращения Земли¹⁴. Выделяются периоды ее замедления и ускорения и особенности этих процессов. Например, после периода увеличения замедления был период уменьшения замедления вращения планеты, который продолжался с 20 по 30 мая 1995 года и который далее сменился периодом увеличения замедления. Можно определить еще одну особенность — преемственность таких показателей на соседних витках в разные годы. В предыдущем 1994 году 28 мая было зафиксировано в отмеченном пространстве меньшее замедление, чем в 1995 году. Период уменьшения

¹³ Атлас мира / отв. ред. А.Н. Баранов. М.: ГУГК при СМ СССР, 1954. 284 с.

¹⁴ Jones G., Bikos K., Hocken V. A Day is Not Exactly 24 Hours. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://timeanddate.com/time/earth-rotation.html#cals-daylength> (дата обращения: 20.04.2025).

замедления продолжался при этом с 20 по 28 мая 1994 года. Таким образом, 28 мая 1995 года произошла смена периода увеличения замедления на период его уменьшения, хотя и при больших показателях замедления, что не способствовало устойчивости непрерывного движения Земли.

Одновременно рассматриваемое сейсмическое событие 28 мая 1995 года случилось при первом режиме ротации, когда усиливался тихоокеанский приток ТЗВ. Оно приурочено к зоне транзитного тальвега, связанного с подобным более крупного ранга, проходящим и через впадину Дерюгина (рис. 2, узел 7). Система гидро- и литодинамических потоков и зон транзитных тальвегов, в которой развивалось отмеченное землетрясение (его очаг был на глубине 9 км), совпадает по направлению с данным господствующим в тот момент тихоокеанским притоком ТЗВ, и в ней задействованы местные базисы денудации во впадинах (Марианской, Курильской, Дерюгина).

Рассматриваемое землетрясение развивается в сфере узла транзитных тальвегов р. Пильтун и продолжения р. Кадыланьи в Пильтунском заливе относительно низкого ранга. Оно произошло в пойме р. Кадыланьи в слабом звене сферы узла р. Кадыланьи и ее притока р. Кениги¹⁵ [11]. Кроме того, необходимо отметить наличие в этой системе неслучайного участка транзитного тальвега субмеридионального простираения в проливе Пильтун, что увеличивает силу сноса вещества земной поверхности в зону охотоморского транзитного тальвега с узлами 7 и 8. Отмеченная информация может быть использована при разработке технологии недопущения (гашения) высокомагнитудных землетрясений в данном регионе. Для этого требуются детальные исследования системы гидро- и литодинамических потоков и транзитных тальвегов, к которой приурочено данное землетрясение, с учетом ротационного фактора. Такая технология должна включать определение оптимальных превышений между местным базисом денудации в узле р. Кадыланьи — Кениги и слабым звеном на выходе из сферы этого узла. Одновременно необходимо учитывать, что барьерная зона в слабом звене границы сферы узла транзитных тальвегов с р. Кадыланьи и Кениги усиливается из-за формирования там на глубине нефтегазовых залежей. После очередного землетрясения слабое звено в барьерной зоне опять начинает развиваться в условиях усиления барьера. В результате на одном из будущих орбитальных витков и при первом режиме ротации планеты ситуация с землетрясением, возможно более разрушительным, может повториться. Поэтому для оптимизации количественных параметров данной барьерной зоны необходимо учитывать также системы транзитных тальвегов на глубоких горизонтах до глубины 9 км (очага землетрясения).

Кроме высокомагнитудных сейсмических событий, негативными для социума являются процессы формирования обширных зон затопления (сезонных

¹⁵ Атлас мира / отв. ред. А.Н. Баранов. М.: ГУГК при СМ СССР, 1954. 284 с.

и внесезонных). Эти зоны также связаны с развитием сфер узлов транзитных тальвегов разного ранга, с изменениями скорости понижения местных базисов денудации в них из-за влияния ротационного фактора. Например, узел р. Амур и Уссури (**рис. 1**, узел б) имеет определенную сферу своего влияния (она ограничена красной жирной и коричневой тонкой линиями). Мониторинг изменений превышений между местным базисом денудации и слабым звеном данной сферы с учетом ротационного фактора даст возможность определить режим формирования зоны затопления в узле б и разработать мероприятия по недопущению ее образования или значительному уменьшению затопления. Для разработки таких технологических решений необходимо использовать репрезентативные картографические материалы более крупного масштаба, которые позволят уточнить положение выделяемых границ сфер влияния узлов транзитных тальвегов, а также определить с достаточной точностью элементы будущих геотехнологий.

Необходимо также проводить мониторинг возможных изменений ранга отдельных участков границ отмеченных сфер с использованием новейших батиметрических данных (на слабые звенья транзитных тальвегов) и ротационного фактора. Например, участок границы первого ранга между атлантической и тихоокеанской воронками в Индийском океане от архипелага Чагос ослабляется из-за усиления атлантического притока ТЗВ. Данная граница между сферами первого ранга проходит по хребтам Кергелен, частично по Центрально-Индийскому до архипелага Чагос. С учетом изобаты 4000 м на карте¹⁶ современную границу далее необходимо проводить от архипелага Чагос не через о. Мадагаскар (вследствие усиления проницаемости бывшего барьера: см. красную пунктирную линию на **рис. 1**), а по Аравийско-Индийскому подводному хребту.

На **рис. 1** показаны слабые звенья транзитного тальвега, от которых зависит развитие котловины Северного Ледовитого океана. Такая информация позволит исследовать развивающиеся в этом регионе гигантские внутренние волны. Согласно исследованию [12], эта проблема очень актуальна в настоящее время для пролива Карские Ворота. В работе [13] отмечается, что опасные волны сами по себе способствуют более быстрому сокращению ледового покрова, и в будущем это приведет к увеличению их высоты. Показаны также два современных ареала их формирования в Северном Ледовитом океане. С учетом системы транзитных тальвегов эти ареалы не случайны, они зависят от режима ротации Земли вокруг своей оси. Значение данной проблемы трудно переоценить, она требует оперативного создания новых технологических решений по недопущению увеличения высоты таких волн в отмеченном регионе с учетом полученных новых данных.

¹⁶ Атлас мира / отв. ред. А.Н. Баранов. М.: ГУГК при СМ СССР, 1954. 284 с.

4 Выводы

Исследования показали, что функционирует единая система транзитных тальвегов и сфер влияния их узлов — структур естественного управления процессами денудации разного ранга. Рассмотрена часть этой системы — Охотоморская структура управления процессами денудации с привязанными к ее элементам землетрясения магнитудой 5 и выше. От непрерывной динамики такой системы напрямую зависят негативные процессы денудации и аккумуляции.

Для получения данных целесообразно использовать географические и структурные геологические карты разного масштаба, информацию об изменениях скорости вращения Земли, а также большие массивы целенаправленных геодезических измерений, связанных со сферами узлов транзитных тальвегов.

Структуры естественного управления процессами денудации разного ранга позволяют в результате регулирования их количественных параметров оптимизировать природно-антропогенные взаимосвязи. Увеличение превышений между базисом денудации в узле транзитных тальвегов и их слабым звеном на выходе такой структуры способствует формированию зоны затопления в ней, а уменьшение таких превышений может привести к развитию высокомагнитудного сейсмического события в слабом звене на выходе структуры. В процессе использования таких структур появятся и другие их количественные показатели, требующие оптимизации.

Таким образом, сами по себе сферы (воронки) узлов транзитных тальвегов разного ранга обладают возможностями для создания в них зон затопления. Последние очень опасны и для нефтегазовых объектов, т. к. изменения условий функционирования могут способствовать разрушению данных объектов и усилению загрязнения прилегающих территорий. Поэтому необходимы новые чувствительные технологии недопущения формирования обширных зон затопления на конкретных территориях. Мониторинг изменений превышений между узлом транзитных тальвегов определенного ранга и их слабым звеном на выходе сферы влияния данного узла позволит выявить (и технологически поддерживать) экологически оптимальные значения этого параметра для конкретной территории, чтобы там не проявлялись ощутимые негативные процессы затопления территорий.

Одновременно система слежения за изменениями таких параметров в смежных подобных сферах с учетом ротационного фактора даст возможность определить оптимальные параметры эрозионного расчленения потенциально опасного с точки зрения сейсмичности слабого звена транзитного тальвега между двумя его узлами и разработать технологические решения, не допускающие возникновения там высокомагнитудных землетрясений.

Полученная системная информация о структурах естественного управления процессами денудации разного ранга является основой для разработки новых экологически чистых геотехнологий и системного мониторинга развития земных недр.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 125021302095-2).

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Павленкова Н.И., Кашубин С.Н., Гонтовая Л.И. и др. Глубинное строение и геодинамика Охотоморского региона // Региональная геология и металлогения. 2018. № 76. С. 70–82.
2. Орлов В.И. Динамическая география. М.: Научный мир, 2006. 594 с.
3. Соколова Н.В. Мониторинг геологических процессов высокого ранга с использованием системы транзитных тальвегов // Пространственные данные: наука и технологии. 2024. Т. 15, № 2. С. 43–58. DOI:10.30533/scidata-2024-15-10.
4. Gallen S.F., Thigpen J.R. Lithologic Controls on Focused Erosion and Intraplate Earthquakes in the Eastern Tennessee Seismic Zone // Geophysical Research Letters. 2018. Vol. 45. Iss. 18. P. 9569–9578. DOI:10.1029/2018GL079157.
5. Bendick R., Bilham R. Do Weak Global Stresses Synchronize Earthquakes? // Geophysical Research Letters. 2017. Vol. 44. Iss. 16. P. 8320–8327. DOI:10.1002/2017GL074934.
6. Маргулис Л.С. Нефтегеологическое районирование и оценка нефтегазовых ресурсов дальневосточных морей // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2009. Т. 4, № 2. С. 1–17. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ngtp.ru/rub/5/23_2009.pdf (дата обращения: 21.04.2025).
7. Чеброва А.Ю., Абубакиров И.Р., Гусев А.А. и др. Охотоморское-III землетрясение 24 мая 2013 г. с $M_w = 8.3$, $I_0 = 6$ (Охотское море) // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 22: 2013 г. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. С. 377–396. DOI:10.35540/1818-6254.2019.22.34.
8. Сасорова Е.В., Левин Б.В. О связи вариаций скорости вращения Земли и ее сейсмической активности. Вступление Земли в новую фазу уменьшения угловой скорости вращения // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2017. № 4 (20). С. 91–100. DOI:10.18454/2079-6641-2017-20-4-91-100.
9. Тихонов И.Н., Ломтев В.Л. Мелкофокусная сейсмичность Охотского моря и ее вероятная тектоническая природа // Вопросы инженерной сейсмологии. 2014. Т. 41, № 1. С. 19–38.
10. Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л. Дилатантные структуры и электромагнитные возмущения УНЧ диапазона на этапах подготовки и развития крупного сейсмического события // Вестник ОНЗ РАН. 2010. Т. 2, NZ6027. С. 202–213. DOI:10.2205/2010NZ000045.

11. Оскорбин Л.С., Поплавский А.А., Стрельцов М.И. и др. Нефтегорское землетрясение 27(28) мая 1995 года ($M_w = 7,1$) // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году: сборник научных трудов. М.: ГС РАН, 2001. С. 170–182.
12. Kozlov I.E., Kopyshov I.O., Frey D.I., et al. Multi-Sensor Observations Reveal Large-Amplitude Nonlinear Internal Waves in the Kara Gates, Arctic Ocean // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. Iss. 24. P. 5769. DOI:10.3390/rs15245769.
13. Thomson J., Rogers W.E. Swell and Sea in the Emerging Arctic Ocean // Geophysical Research Letters. 2014. Vol. 41. Iss. 9. P. 3136–3140. DOI:10.1002/2014GL059983.

АВТОРЫ

Соколова Надежда Васильевна

ФГБУН «Институт проблем нефти и газа РАН» (ИПНГ РАН), Москва, Россия

Центр инновационных нефтегазовых технологий

канд. техн. наук

 0000-0002-4381-4667

Поступила 15.06.2025. Принята к публикации 22.08.2025. Опубликовано 29.08.2025.

UDC 551.4

DOI:10.30533/scidata-2025-16-09



On the Structures of Denudation Processes Natural Control in a Unified System of Transit Thalwegs

Nadezda V. Sokolova¹✉

AFFILIATIONS

¹ Oil and Gas Research Institute of RAS, Moscow, Russia

✉ sona@ipng.ru

CITATION

Sokolova NV. On the Structures of Denudation Processes Natural Control in a Unified System of Transit Thalwegs. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(2): 58–75. DOI:10.30533/scidata-2025-16-09.

KEYWORDS

node of transit thalwegs, structure of denudation processes natural control, Earth's rotation mode around its axis, change in the Earth's rotation speed, geological environment, weak link of transit thalweg

ABSTRACT

The article shows the need for create geotechnologies adapted to continuous natural changes in the geological environment. To solve this problem, data are required on transit thalwegs, indicators of the prevailing process of matter increasing compaction to the Earth center, on the character planet rotation around its axis and movement along its orbit. Systems of transit thalwegs have been identified in the considered area of the Okhotsk Sea oil and gas province. Taking them into account, the boundaries of the transit thalwegs nodes spheres (structures natural control of different ranks denudation processes) were determined. The features of the negative processes development (earthquakes, flood zones, etc.) have been established taking into account

the identified structures and the rotation factor. As studies have shown, it is advisable to consider all (including negative) geological processes within the framework of structures natural control of different ranks denudation processes. In this case, it becomes possible to identify their patterns and use these data to develop new effective geotechnologies. Since the first level of hydro- and lithodynamic flows natural control is realized in the node thalwegs (one is transit, the other is an active inflow to it), each sphere has a certain degree of vulnerability with respect to the development of negative geological processes in it. The new data obtained on the natural control structures of different ranks denudation processes can be useful for the development of innovative geotechnologies that contribute to increasing the land use efficiency, preventing extensive flood zones and increased seismicity, and optimizing natural and economic relationships.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was completed within the framework of the state assignment (topic No. 125021302095-2).

REFERENCES


1. Pavlenkova NI, Kashubin SN, Gontovaya LI, et al. Glubinnoe stroenie i geodinamika Okhotomorskogo regiona [Deep Structure and Geodynamics of the Okhotsk Sea Region]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2018;76: 70–82. (In Russian).
2. Orlov VI. Dinamicheskaya geografiya [Dynamic Geography]. Moscow: Nauchnyi mir; 2006. 594 p.
3. Sokolova NV. Monitoring geologicheskikh protsessov vysokogo ranga s ispol'zovaniem sistemy tranzitnykh tal'vegov [Monitoring of High-Rank Geological Processes Using the System of Transit Thalwegs]. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2024;15(2): 43–58. DOI:10.30533/scidata-2024-15-10.
4. Gallen SF, Thigpen JR. Lithologic Controls on Focused Erosion and Intraplate Earthquakes in the Eastern Tennessee Seismic Zone. *Geophysical Research Letters*. 2018;45(18): 9569–9578. DOI:10.1029/2018GL079157.
5. Bendick R, Bilham R. Do Weak Global Stresses Synchronize Earthquakes? *Geophysical Research Letters*. 2017;44(16): 8320–8327. DOI:10.1002/2017GL074934.
6. Margulis LS. Neftegeologicheskoe raionirovanie i otsenka neftegazovykh resursov dal'nevostochnykh morei [Oil and Gas Zoning and Assessment of Oil and Gas Resources of the Far Eastern Seas]. *Oil and Gas Geology. Theory and Practice*. 2009;4(2): 1–17. Available from: https://ngtp.ru/rub/5/23_2009.pdf (Accessed 21 April 2025).
7. Chebrova AYU, Abubakirov IR, Gusev AA, et al. Okhotomorskoe-III zemletryasenie 24 maya 2013 g. s Mwreg = 8.3, I0 = 6 (Okhotskoe more) [The Sea of Okhotsk-III Earthquake of May 24, 2013 with Mwreg = 8.3, I0 = 6 (Sea of Okhotsk)]. *Earthquakes of Northern Eurasia*. Vol. 22: 2013. Obninsk: Geophysical Survey of Russia Academy of Sciences; 2019: 377–396. DOI:10.35540/1818-6254.2019.22.34.
8. Sasorova EV, Levin BV. O svyazi variatsii skorosti vrashcheniya Zemli i ee seismicheskoi aktivnosti. Vstuplenie Zemli v novuyu fazu umen'sheniya uglovoi skorosti

- vrashcheniya [On the Relationship between Variations in the Earth's Rotation Velocity and Its Seismic Activity. The Earth's Entry into a New Phase of Decreasing Angular Velocity of Rotation]. *Bulletin KRASEC. Physical and Mathematical Sciences*. 2017;4(20): 91–100. DOI:10.18454/2079-6641-2017-20-4-91-100.
9. Tikhonov IN, Lomtev VL. Melkofokusnaya seismichnost' Okhotskogo morya i ee veroyatnaya tektonicheskaya priroda [Shallow-Focus Seismicity of the Sea of Okhotsk and Its Probable Tectonic Nature]. *Problems of Engineering Seismology*. 2014. 41(1): 19–38.
 10. Sobisevich LE, Sobisevich AL. Dilatatsionnye struktury i elektromagnitnye vozmushcheniya UNCH diapazona na etapakh podgotovki i razvitiya krupnogo seismicheskogo sobytiya [Dilatancy Structures and Electromagnetic Disturbances of the ULF Range at the Stages of Preparation and Development of a Large Seismic Event]. *Newsletters of the Department of Earth Sciences*. 2010;2(Z6027): 202–213. DOI:10.2205/2010NZ000045.
 11. Oskorbin LS, Poplavsky AA, Streltsov MI, et al. Neftegorskoe zemletryasenie 27(28) maya 1995 goda (Mw = 7,1) [Neftegorsk Earthquake of May 27(28), 1995 (Mw = 7.1)]. *Earthquakes of Northern Eurasia in 1995: Collection of Scientific Papers*. Moscow: GS RAS; 2001: 170–182.
 12. Kozlov IE, Kopyshov IO, Frey DI, et al. Multi-Sensor Observations Reveal Large-Amplitude Nonlinear Internal Waves in the Kara Gates, Arctic Ocean. *Remote Sensing*. 2023;15(24): 5769. DOI:10.3390/rs15245769.
 13. Thomson J, Rogers WE. Swell and Sea in the Emerging Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*. 2014;41(9): 3136–3140. DOI:10.1002/2014GL059983.

AUTHORS

Nadezda V. Sokolova

Oil and Gas Research Institute of RAS, Moscow, Russia
 Center for Innovative Oil and Gas Technologies
 PhD in Engineering

 0000-0002-4381-4667

Submitted: June 15, 2025. Accepted: August 22, 2025. Published: August 29, 2025.