

## О МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРАХ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

**Н.В. Соколова**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник  
Институт проблем нефти и газа Российской академии наук  
(Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-7-1-77-83

*Работа выполнена в рамках госзадания, тема № 122022800270-0.*

**Аннотация.** В статье показана необходимость учета непрерывной геодинамики при изучении неустойчивости геологической среды. Выявлены многопараметрические индикаторы такой неустойчивости. Они отражают влияние ротационного фактора и доминирующий процесс уплотнения вещества по направлению к центру Земли. Такие индикаторы показывают изменения процессов денудации разного ранга, а также развитие глобальной системы дренирования на земной поверхности. Рассмотрены особенности распространения сейсмических событий в конкретных районах с учетом транзитных тальвегов разного ранга и ротационного фактора.

**Ключевые слова:** геологическая среда, неустойчивость, непрерывная геодинамика, транзитный тальвег, ротационный фактор, землетрясения, глобальная система дренирования на земной поверхности.

Неустойчивость геологической среды является очень актуальной проблемой, от решения которой зависит разработка новых многоплановых высокоэффективных технологий недропользования, в том числе и нефтегазовых.

В настоящее время изучение данной проблемы проводится в отрыве от непрерывной геодинамики, тех противоположных процессов, которые каждое мгновение изменяют геологическую среду. Это накладывает свой отпечаток на применение методов исследований.

Земля является пространством, где преобладает аккумуляция вещества. При критических показателях усиления денудации планета может разрушиться. Поэтому в природе аккумуляция и денудация жестко ранжированы. Одновременно данные противоположные процессы не могут развиваться обособленно друг от друга [1]. В связи с этим индикаторы неустойчивости геологической среды должны отражать характер денудации земного вещества.

В условиях непрерывной геодинамики разрушение имеет место при господствующем усилении уплотнения вещества к центру Земли, а также вращении ее вокруг своей оси и движении по орбите [2]. Ин-

дикаторами первого процесса являются транзитные тальвеги. Они структурированы воронками, на дне каждой из них имеется местный базис денудации. При погружении местного базиса денудации усиливается сток вещества в воронку, а по мере уменьшения скорости погружения сток вещества в воронку уменьшается, и она активно начинает дренироваться. На стыках соседних воронок формируются слабые (неустойчивые) участки транзитных тальвегов. Более подробно данная проблема рассмотрена в [2, 3].

Влияние вращения планеты вокруг своей оси на изменение геологической среды проявляется при функционировании глобальной системы дренирования земной поверхности, состоящей из самого крупного на земной поверхности Течения Западных Ветров (ТЗВ) и двух противоположных по направлению его активных притоков (действующих в Атлантическом и Тихом океанах). Именно они определяют всего два глобальных литодинамических бассейна (атлантический и тихоокеанский) на земной поверхности.

В течение суток наблюдаются два сменяющих друг друга через каждые 12 часов противоположных режима дренирования

земной поверхности, когда усиливается тихоокеанский приток, а атлантический – ослабевает (первый режим) и, наоборот, когда усиливается атлантический приток, а тихоокеанский – ослабевает (второй режим). В связи с действием данных режимов дренирования также создаются геодинамические напряжения, которые снимаются в слабых звеньях транзитных тальвегов разного ранга. Как показали исследования в Камчатском регионе [3], это влияет на распределение сейсмических событий магнитудой выше 5,5.

Данные [4] свидетельствуют о том, что скорость вращения Земли вокруг своей оси меняется волнообразно. Такие изменения отражают и характер неровности орбитального пути планеты, его структурированность специфическими воздушными воронками, что, в свою очередь, также влияет на распространение сейсмических событий. К примеру, сильные землетрясения в Турции в феврале 2023 г. произошли тогда, когда Земля выходила из очередной воронки определенного ранга. Скорость вращения планеты вокруг своей оси (и

ТЗВ) уменьшалась и усиливался дополнительно атлантический приток ТЗВ.

К опасным процессам, которые характеризуют степень неустойчивости и разрушения геологической среды, относятся серии сейсмических событий, случающихся многократно практически в одних и тех же частях пространства.

При этом каждое из землетрясений, в том числе низкомagnitude [5], является индикатором непрерывных изменений напряженного состояния недр.

Целью настоящего исследования является определение многопараметрических индикаторов неустойчивости геологической среды с учетом непрерывной геодинамики на конкретных примерах (п-ова Камчатка и части акватории Черного моря, примыкающей к Западному Кавказу).

#### Результаты исследований

В соответствии с данными ФИЦ ЕГС РАН [6] близ черноморского побережья Кавказа на конкретном участке зафиксирована серия землетрясений (табл. 1), произошедших в определенных условиях непрерывной геодинамики (рис. 1).

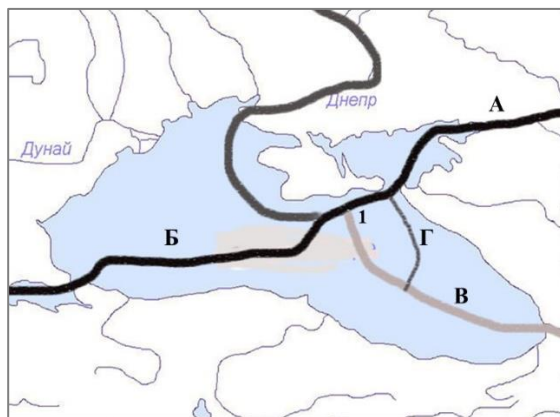


Рис. 1. Взаимосвязь транзитных тальвегов разного ранга (1-го (А и Б) – черные жирные линии; 2-го (В) – серая жирная линия; 3-го (Г) – серая тонкая линия) с узлом (1) сочленения А-В в черноморской котловине (с использованием [2, 7-9])

Особенностью взаимосвязей транзитных тальвегов А – Г является то, что они способствуют развитию относительно глубоко эродированной зоны взаимодействия противоположных притоков (в черноморскую котловину к тальвегам В и Г и в про-

тивоположном направлении – к тальвегу в реке Кубань).

Землетрясения в этом районе зарегистрированы и при первом, и при втором режимах функционирования Земли в течение суток (см. Табл. 1).

Таблица 1. Серия землетрясений, произошедших в зоне между черноморским побережьем Кавказа и транзитными тальвегами А, В и Г [6, 10, 2], (см. рис. 1)

Хронология GMT (в скобках – местное время)	Магнитуда	Режим взаимодействия противоположных притоков к ТЗВ самого крупного ранга (в скобках - режим развития черноморской котловины)
2022-03-02 19:55:59 (22-55-59)	3,9	Первый (дренирование)
2022-06-16 03:50:25 (06:50-25)	4,0	Второй (аккумуляция)
2022-06-16 12:22:42 (15:22-42)	3,6	Второй (дренирование)
2022-09-01 05:14:18 (08-14:18)	3,7	Второй (аккумуляция)
2022-12-31 05:00:18 (08:00-18)	4,1	Второй (аккумуляция)
2023-03-23 16:55:23 (19:55-23)	3,4	Первый (дренирование)
2023-05-13 18:16:46 (21:16-46)	3,6	Первый (дренирование)
2023-05-14 22:09:24 (15-01:09-24)	3,2	Второй (дренирование)
2023-05-19 09:58:06 (12:58-06)	3,1	Второй (дренирование)
2023-05-25 19:02:45 (22:02-45)	4,4	Первый (дренирование)
2023-05-25 19:20:15 (22:20-15)	3,6	Первый (дренирование)
2023-05-25 20:31:53 (23:31-53)	3,8	Первый (дренирование)
2023-05-25 22:49:51 (26-01:49-51)	3,6	Первый (аккумуляция)
2023-05-29 13:46:56 (16:46-56)	3,2	Второй (дренирование)
2023-06-20 08:04:03 (11:04-03)	3,6	Второй (аккумуляция)
2023-06-22 16:25:17 (19-25-17)	3,6	Первый (дренирование)

При первом режиме (в первую его половину) и при втором режиме (во вторую половину) система транзитных тальвегов А, Б, В способствует дренированию черноморской котловины в сторону Атлантики. В этом направлении на суше и в примыкающей к ней зоне черноморской котловины активизируются притоки к В и Г. На шельфе создаются условия для землетрясений в слабом звене взаимодействия крупных тальвегов (А и Г), а также между подобными более низкого ранга, проходящими перпендикулярно В.

Согласно данным (см. табл. 1) 11 землетрясений (из 16) в сфере действия тальвегов В и Г произошли в условиях дилатансии и усиления дренирования черноморской котловины в сторону Атлантики (в первую половину первого режима и вто-

рую половину второго режима функционирования Земли).

Во второй половине первого режима, и первой половине второго режима, наоборот, усиливается аккумуляция вещества в черноморской котловине и активизируются левые притоки в р. Кубань. При этом противоположные притоки (в зоны тальвегов В и Г) развиваются в условиях компакссии. Из 5 землетрясений в эти периоды два произошли в слабом звене взаимодействия тальвегов А и Г, одно – в зоне влияния левых притоков р. Кубань и два – при перестройке и деформации притоков в тальвег В.

Наряду с этим в соответствии с [11, 12] серия землетрясений магнитудой от 5,5 и выше (табл. 2) зафиксирована в зоне тихоокеанского транзитного тальвега, окайм-

ляющего область денудации, в которой развивается п-ов Камчатка (рис. 2).

Здесь за три дня зарегистрировано 25 (!) землетрясений практически на одном и том же участке тихоокеанского транзитного тальвега между узлами № 3 и № 4, (точнее, между узлами сочленения тальвегов в Кроноцком заливе и в Авачинской губе с главным тихоокеанским тальвегом), на склоне в сторону Марианской впадины.

Этот массив землетрясений приурочен к границе литодинамического бассейна (см. рис. 2), фиксирующей предел врезания р. Камчатки.

Так как самый главный базис денудации в Марианской впадине в Тихом океане

расположен глубже (-10863 м), чем во впадине Пуэрто-Рико в Атлантическом океане (-9218 м) [7], то в процессе вращения Земли вокруг своей оси при первом режиме происходит снятие геодинамических напряжений, а при втором (когда начинает усиливаться атлантический приток) – они накапливаются.

Распределение землетрясений, представленных в таблице 2, свидетельствует о компенсационном (но не до конца) характере взаимосвязи крупных (атлантического и тихоокеанского) противоположных притоков ТЗВ.



Рис. 2. Область денудации в границах транзитных тальвегов, в которой развивается п-ов Камчатка (с использованием [3, 7, 13])

1 – тихоокеанский и охотоморский транзитные тальвеги (условно первого, второго и третьего ранга); 2 – границы литодинамических бассейнов разного ранга, определяющих сферы влияния узлов тальвегов; 3 – слабое звено границы области денудации, в которой развивается п-ов Камчатка; 4 – самые крупные узлы сочленения транзитных тальвегов; 5 – узлы сочленения транзитных тальвегов меньшего ранга в Тихом океане; 6 – узлы сочленения транзитных тальвегов в Охотском море

По фактическим результирующим данным [7] атлантический приток всегда активнее тихоокеанского (в сферу его влияния входит котловина Северного Ледовитого океана). Но рассматриваемый разрушающийся участок тальвега развивается в системе тихоокеанского притока к ТЗВ. Из 25 землетрясений (табл. 2) 14 произошли при первом режиме, а 11 – при втором.

Таким образом, с 2013-05-19 18:44:07 до 2013-05-19 23-51-28 происходило снятие уже накопленных геодинамических напряжений, а 2013-05-20 с 00-13-11 до 01-07-33 они опять накапливались. 2013-05-20 с 22-51-41 до 23-01-22 вновь снимались напряжения. Далее 2013-05-21 с 01-55-03 до 05-43-16 опять происходило их накопление. Потом они снова снимались и т.д. (см. табл. 2).

Таблица 2. Серия землетрясений, произошедших 19-21 мая 2013 г. на шельфе в зоне тихоокеанского притока к ТЗВ (между узлами его сочленения с тальвегами в Авачинской губе и Кроноцком заливе, см. рис. 2) с использованием [11, 12, 3]

Хронология UTC (в скобках – местное время Камчатки)	Магнитуда	Режим взаимодействия противоположных притоков к ТЗВ самого крупного ранга
2013-05-19 18:44:07 (6-44-07)	6,1	Первый
19:21:21 (7-21-21)	5,6	Первый
19:53:03 (7-53-03)	5,8	Первый
20:20:06 (8-20-06)	5,6	Первый
21:05:10 (9-05-10)	5,5	Первый
22:38:45 (10-38-45)	6,0	Первый
22:40:22 (10-40-22)	6,0	Первый
22-41-44 (10-41-44)	5,6	Первый
23-50-11 (11-50-11)	5,5	Первый
23-51-28 (11-51-28)	5,5	Первый
2013-05-20 00-13-11 (12-13-11)	5,8	Второй
00-15-30 (12-15-30)	5,5	Второй
01-07-33 (13-07-33)	5,8	Второй
22-51-41 (10-51-41)	5,7	Первый
23-01-22 (11-01-22)	5,9	Первый
2013-05-21 01-55-03 (13-55-03)	6,1	Второй
03-05-48 (15-05-48)	5,8	Второй
03-08-16 (15-08-16)	6,2	Второй
03-09-45 (15-09-45)	5,8	Второй
03-43-07 (15-43-07)	5,5	Второй
04-24-02 (16-24-02)	5,6	Второй
04-59-32 (16-59-32)	5,7	Второй
05-43-16 (17-43-16)	6,5	Второй
14-51-13 (2-51-13)	5,6	Первый
17-42-11 (5-42-11)	5,5	Первый

На суше, где фиксируется сочленение продолжений охотоморского и тихоокеанского тальвегов, функционирует слабое звено границы области денудации с п-овом Камчатка (см. рис. 2). В данном слабом звене также возможно усиление эрозивных процессов и проявление землетрясений. В нем фиксируется предел взаимодействия различных по энергетике противоположных притоков в Охотское и Берингово моря.

От характера этих притоков (и соответствующих тальвегов) зависит процесс преобразования п-ова Камчатка в остров. Важным является и то обстоятельство, что согласно [7] на суше притоки в Охотское море выражены сильнее, чем противоположные в Берингово море. Данные [11] показывают, что при землетрясениях разной магнитуды в ходе вращения Земли отмеченное слабое звено постепенно расчленяется.

### Заключение

Неустойчивость геологической среды целесообразно рассматривать с учетом действия господствующего процесса уплотнения вещества к центру Земли и ротационного фактора. При этом увеличение неустойчивости геологической среды определяется активизацией процессов денудации и расчленения слабых звеньев транзитных тальвегов разного ранга.

В условиях непрерывной геодинамики многопараметрическими индикаторами естественных изменений геологической среды являются транзитные тальвеги. Информация о них позволит разработать прогрессивные технологии поддержания оптимальных режимов функционирования природных объектов, в том числе и Черного моря [2].

Комплексные исследования слабых звеньев транзитных тальвегов разного ранга, изменений ротационного фактора и серий землетрясений показали активное расчленение придонной части черноморской кот-

ловины близ побережья Западного Кавказа в периоды ее дренирования в сторону Атлантики при первом режиме (в первую его половину) и при втором режиме (во вторую половину) функционирования Земли в течении суток. Такие особенности могут способствовать развитию оползней на примыкающей к данному участку суше.

Наряду с этим подобные комплексные исследования были проведены для одного из слабых звеньев транзитного тихоокеанского тальвега, оконтуривающего область денудации с п-овом Камчатка. В этом слабом звене между узлами сочленения тихо-

океанского транзитного тальвега с двумя подобными параллельными, проходящими сначала на суше и затем продолжающимися в Авачинской губе и Кроноцком заливе, за три дня произошло 25 землетрясений, которые, как оказалось, также зависят от режима взаимодействия атлантического и тихоокеанского притоков ТЗВ. Поэтому появляется насущная необходимость исследования характера непрерывных изменений взаимосвязей транзитных тальвегов на суше и в акваториях с учетом ротационного фактора.

#### Библиографический список

1. Орлов В.И. Динамическая география. – М.: Научный мир, 2006. – 594 с.
2. Соколова Н.В. Роль узлов транзитных тальвегов в современном развитии Черного моря // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2023. – Т. 9 (19), Вып. 1. – С. 233-242.
3. Соколова Н.В. Значение ротационного фактора в непрерывной геодинамике // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2022. – № 6-1. – С. 90-99.
4. Выявлена связь между землетрясениями и вращением Земли // Naked Science. – 31 октября 2017. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://naked-science.ru> – (дата обращения 10.05.2023).
5. Smaglichenko T.A., Sokolova N.V., Smaglichenko A.V., Genkin A.L., Sayankina M.K. Gradient Models of Geological Medium to Safety of Large-Scale Fuel-Energy Systems // Proceedings of 2019 Eleventh International Conference "Management of large-scale system development" (MLSD) / Moscow (October 2019 г.). – IEEE Publisher, 2019. DOI:10.1109/MLSD.2019.8911061. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8911061>.
6. Единая геофизическая служба РАН. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ceme.gsras.ru/> (дата обращения: 22.07.2023).
7. Атлас мира / Отв. ред. А.Н. Баранов. – М.: ГУГК при МВД СССР, 1954.
8. Контурная карта «Причерноморье». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sergeywaz.ucoz.ru/> (дата обращения: 10.05.2022).
9. Каширский В.И., Дмитриев С.В. Черное море и анаэробный слой. Гипотеза эндогенного происхождения // Геоинфо. – 30 апреля 2020. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geoinfo.ru/> (дата обращения 08.06.2022).
10. Sochi, Russia to GMT – Savvy Time. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://savvytime.com/> (дата обращения 29.07.2023).
11. Интерактивная карта землетрясений // Официальный сайт Камчатского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://glob.emsd.ru/> (дата обращения 10.01.2022 г.).
12. Разница во времени Петропавловск-Камчатский UTC. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://24timezones.com/> (дата обращения 05.05.2022).
13. Контурная карта Восточной Сибири и Дальнего Востока России. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kontur-map.ru> (дата обращения 05.10.2021).

---

**ABOUT MULTI-PARAMETER INDICATORS OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT  
INSTABILITY**

**N.V. Sokolova**, *Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher*  
**Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences**  
**(Russia, Moscow)**

**Abstract.** *The article shows the need to take into account continuous geodynamics when studying the instability of the geological environment. Multiparametric indicators of such instability are revealed. They reflect the influence of the rotational factor and the dominant process of matter compaction towards the Earth center. Such indicators show changes in denudation processes of various ranks, as well as the development of a global drainage system on the earth's surface. The features of the seismic events propagation in specific areas are considered, taking into account transit thalwegs of different ranks and the rotational factor.*

**Keywords:** *geological environment, instability, continuous geodynamics, transit thalweg, rotational factor, earthquakes, global system of drainage on the earth's surface.*