

# ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ АКТИВНОСТИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХ

**Н.И. Овсяченко** (НИПИ «ИнжГео», Краснодар)

В 1976 г. окончил Новочеркасский геологоразведочный техникум по специальности «геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», в 1988 г. — геолого-географический факультет Ростовского государственного университета по специальности «геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых». В 1976–1996 гг. работал в Средней Азии на должностях от техника-геолога до начальника геологического отдела и главного геолога экспедиции. В 1996–1999 гг. работал в ГУП «Кубаньгеология» главным геологом партии. С 2000 г. работает в ЗАО «НИПИ «ИнжГео», в настоящее время — начальник тематической партии. Кандидат геолого-минералогических наук.

В последние годы особенно остро проявилась необходимость в детальных оценках сейсмической опасности регионов при проектировании новых трубопроводов. Северо-Западный Кавказ является зоной активного строительства, поэтому специалистами нашей организации были изучены многие разрывные структуры Северо-Западного Кавказа, попадающие в зону проектируемых нефте- и газопроводов. При этом разломы исследовались как с точки зрения их сейсмологической активности, так и геологической подвижности.

На фоне таких сейсмоактивных областей, как Байкальская рифтовая зона, Саяны, Алтай и Дальний Восток, Северо-Западный Кавказ является одной из относительно слабоизученных областей в сейсотектоническом плане. В основном исследователи изучали Закавказье, а Северо-Западный Кавказ традиционно считался не очень активной зоной. На новой карте общего сейсмического районирования (ОСР-97) трассируется 8–9 балльная зона с периодом повторяемости сильнейших землетрясений более 1000 лет.

Согласно принятым в последнее время СНиП и ведомственным РД к геологическим изыска-

ниям, требуется проводить изучение каждого разлома детально и с разных сторон (мощность зоны разлома по трассе трубопровода, его современная активность, ожидаемые сейсмогенные и медленные геологические (криповые) смещения трубопровода в зоне разлома), что ранее, обычно, не делалось.

Изучение современной активности тектонических нарушений выполнялось на нефтепроводе «Крымск–Грушовая» (Новороссийск) в общем комплексе изыскательских работ по его реконструкции для разработки защитных мероприятий по сохранности трубопровода, согласно требованиям СНиП 2.05.06–85\* (Магистральные трубопроводы).

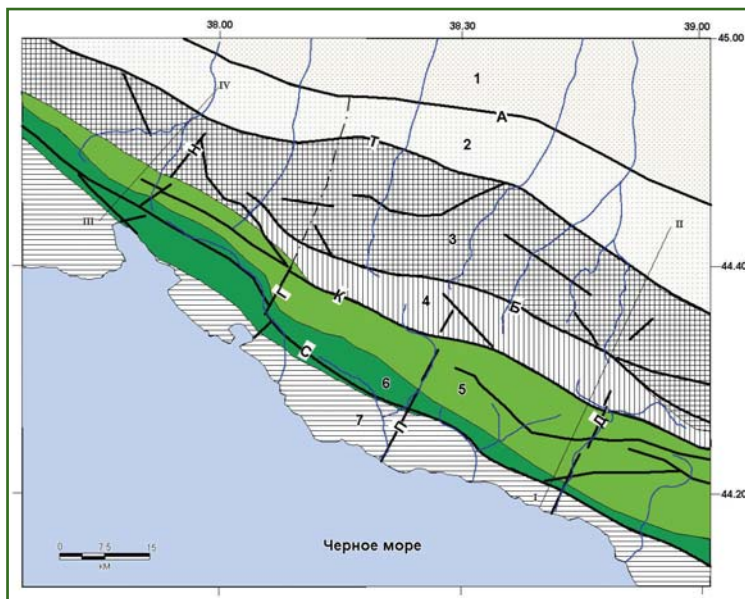
Район, по которому проходит нефтепровод, сложен породами меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем.

В тектоническом отношении территория располагается на западном погружении мегантиклинория Большого Кавказа, представляющего собой складчатое сооружение, осложненное многочисленными крутопадающими и пологими разрывными нарушениями и ограниченное с юга водами Черного моря, а с севера — Ахтырским глубинным разломом. На рис. 1 приведены текто-

нические зоны (1–7), крупнейшие продольные разломы (С, К, Б, Т, А) и поперечные разломы (Н, Г, П, Д). В региональном плане, в соответствии с имеющимися тектоническими схемами, в пределах мегантиклинория выделяются (с севера на юг): Абино-Гунайский синклиорий, Гойтхский антиклинорий (Папайская подзона) и Новороссийско-Лазаревский синклиорий. В пределах каждого подразделения откартированы тектонические структуры более высоких порядков. Трасса проектируемого нефтепровода начинается в пределах Азовской антиклинальной зоны, продолжается по Псебепской антиклинальной и Тхабско-Шапсугской синклиналиной зонам и заканчивается на северном крыле Семигорской антиклинали.

## ▼ Современная тектоника

Крымско-Большекавказский сектор альпийского геосинклинального пояса относится к числу регионов, современный тектонический облик которых в значительной мере определен в новейший (олигоцен-антропогеновый) этап. Это обстоятельство обуславливает одновременность развития процессов формирования современного



**Рис. 1**  
Обзорная тектоническая схема района нефтепровода  
«Крымск–Грушовая»

тектонического плана Большого Кавказа и современного рельефа, что является важным и благоприятным фактором для выражения в рельефе его тектонической структуры.

На основании результатов повторных нивелировок, детальных геолого-геофизических, геоморфологических и сеймотектонических исследований, а также непосредственного изучения активных тектонических нарушений в горных выработках, проведенных в последние годы, можно отметить некоторые общие закономерности развития тектонических процессов в районе проектируемого нефтепровода.

Продольная зональность тектонических структур, зафиксированная в линейной складчатости и разрывных нарушениях с общекавказским простиранием, нарушена поперечными структурами. Время образования продольных структур палеоцен-эоцен. Поперечная зональность, напротив, характеризует деформации современного этапа, начало которого положено в процессе структурной перестройки в позднем миоцене. Отражается она в целом ступенчатым погру-

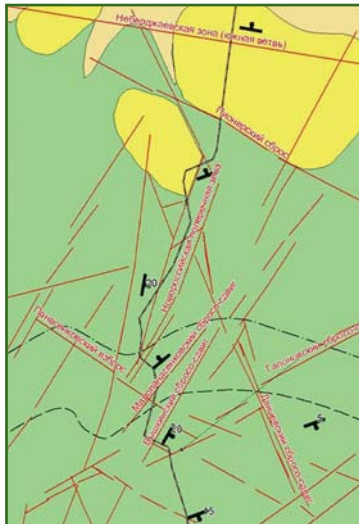
жением Северо-Западного Кавказа. Детальное рассмотрение структуры региона, основанное на комплексном анализе выделения разрывных структур, показало, что каждая из этих ступеней имеет, в свою очередь, также ступенчатое строение. На границе ряда блоков-ступеней прослеживается изменение уровня зеркала складчатости, литофациальных признаков, мощности отложений и т. д. Наряду с вертикальными перемещениями большинство блоков испытывают горизонтальные смещения.

Таким образом, процессы интенсивной тектонической активности региона продолжают и в настоящее время, обуславливая широкое развитие вертикальных и горизонтальных движений. При этом на современной стадии новейшего этапа все большую роль приобретают разрывные образования.

Развитие вертикальных движений в рассматриваемом регионе, как указывалось выше, фиксируется довольно широко. В целом вся береговая линия Черного моря испытывает разнонаправленные вертикальные движения со средней скоростью

1–4 мм/год; береговая зона и область шельфа Черного моря характеризуются повышенной сейсмической активностью. Зона повышенной сейсмической активности прослеживается от Крыма до южной оконечности Черного моря и представляет собой зону интенсивной тектонической напряженности, обусловленной продолжающимися процессами тектонического развития: опускание Черноморской впадины и воздымание горного сооружения Большого Кавказа и Крыма. Область Западно-Кубанского прогиба испытывает в целом нисходящие движения. Горное сооружение Большого Кавказа воздымается в среднем со скоростью 1,5–3 мм/год. При этом на основании богатого фактического материала, целенаправленно собираемого в последние годы, выяснено, что напряжения, накапливаемые в результате описанных движений на Северо-Западном Кавказе, выливаются преимущественно в разрывные смещения по унаследованным и вновь образованным зонам тектонических нарушений.

Разрывные нарушения, расположенные в осевой части исследованной части Кавказского орогена, имеют преимущественно продольную, северо-западную ориентировку и отличаются высокой сейсмической активностью (рис. 2). В данном случае они приурочены к Семигорской зоне взбросо-надвигов. Разрывные нарушения, расположенные севернее, имеют преимущественно поперечную ориентировку, приурочены в основном к Новороссийской и Данчевской поперечным зонам, и не проявляют такой высокой сейсмической активности, отличаясь высокой флюидогеодинимической активностью. Трассу нефтепровода пересекают отдельные сегменты Новороссийской зоны. В связи с присутствием сдвиговой составляющей данная зона представляется наиболее опасной.



**Рис. 2**  
Фрагмент тектонической  
схемы трассы нефтепровода

#### ▼ Методика исследований

С учетом поставленных задач был выбран комплекс работ, включающий геологическое обследование, маршрутные наблюдения, горные и буровые работы, геодезические и геофизические измерения и камеральную обработку. Также был использован опыт изучения современной активности тектонических нарушений на других объектах (горная часть газопровода «Россия–Турция», компрессорная станция «Береговая», проектируемый тоннель «Грушовая–Шесхарис»).

Камеральная обработка состояла из следующих этапов:

- сбор и обобщение материалов по тектоническому строению площади работ;

- дешифрирование космических и аэроснимков (предполевого, полевого и при обработке полевых материалов) различного масштаба (рис. 3);

- морфографический (с элементами морфометрии) анализ топографической основы различного масштаба (1:25 000–1:200 000);

- полевое изучение материалов (геофизических и др.) с целью уточнения направления работ;

- окончательная обработка материалов выполненных полевых работ.

В задачи геофизических исследований входило:

- определение на местности зон тектонических нарушений и интервалов трещиноватости пород, предварительно установленных по материалам дешифрирования космических и аэроснимков, морфографического анализа;

- определение строения этих зон, их мощности и предварительная оценка геодинамической активности.

Для решения поставленных задач использовался комплекс методов, состоящий из вертикальных электрических зондирований, сейсморазведки и газовой-эманационной съемки.

При проведении исследований тектонических нарушений использовалась методика оценки современной тектонической активности, основанная на экспертном подходе и комплексном анализе представительного набора из следующих геолого-геоморфологических параметров:

- резкие изменения мощности четвертичных отложений и почвы;

- резкие изменения фациального состава рыхлых четвертичных отложений;

- наличие видимых резких уступов рельефа (эскарпов) или менее резких, но относительно более крутых участков склонов в зоне разлома;

- присутствие признаков оползневых процессов, приуроченных к зоне разлома;

- наличие очевидного древнего разлома, выраженного в коренных породах;

- наличие приразломных изменений молодых пород (кальцитизация, брекчирование, милонитизация, ожелезнение, перетертость карбонатных пород до известняков и др.) и их смещений.

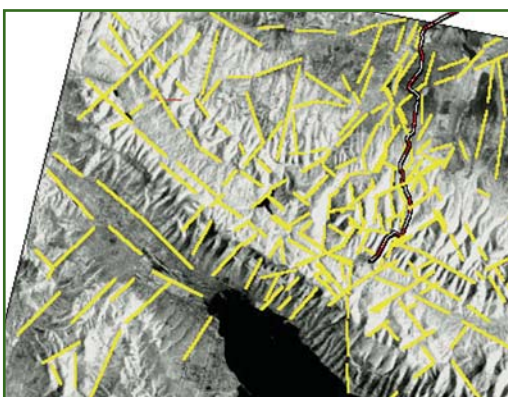
Каждому критерию при оценке современной активности разломов придан вес. Для первых пяти параметров вес составляет по единице, а для последнего — 2 единицы. По каждому параметру принимается экспертное решение. Если явление, отвечающее данному параметру, имеет место, то ему придается значение 1 (или 2 для последнего параметра). Если такое явление в зоне разлома отсутствует, то принимается экспертная оценка 0. Затем частные оценки по отдельным признакам суммируются. При этом максимальная суммарная оценка активности того или иного разлома может составить 7, а минимальная — 0.

Выделяемые численные градации оценок современной геологической (и, в частности, палеосейсмической) активности разломов могут быть соотнесены с более часто применяемыми качественными, описательными характеристиками подвижности дизъюнктивных дислокаций. Так, оценки 0 и 1 отвечают пассивному современному состоянию исследуемого разлома. Оценки 2 и 3 могут рассматриваться как показатели низкой современной активности разрывных структур, оценки 4 и 5 свидетельствуют об умеренной активности структур, а оценки 6 и 7 говорят о высокой степени активности разломов.

Данная методика была применена для оценки активности всех разломов.

#### ▼ Оценка амплитуды возможных сейсмогенных смещений по зонам изученных разломов

При исследованиях уровня сейсмического потенциала с



**Рис. 3**  
Пример дешифрирования космического  
снимка масштаба 1:200 000

применением внерегионального сейсмотектонического метода [1] было установлено, что сейсмотектонические зоны северного склона данного сектора Большого Кавказа характеризуются низким или умеренным уровнем сейсмической опасности. Так, для Ахтырской зоны В03, приуроченной к Северной Крымско-Кавказской флексурно-разрывной сейсмотектонической зоне, расчетная  $M_{\max} = 5,1$ , а глубина очагов составляет порядка 5 км. Землетрясения такой силы обычно не оставляют сейсмодислокаций на поверхности земли. В то же время из статистических оценок известно, что смещения в очаге для землетрясений такой магнитуды составляют порядка 4–6 см [2]. Учитывая ответственность сооружения, для разломов, отнесенных к Ахтырской зоне В03 (двух ветвей Неберджаевской флексурно-разрывной зоны, Пионерского и Данчевского разломов), была принята оценка амплитуды возможных сейсмогенных смещений до 0,1 м.

В то же время тектонические структуры осевой части Северо-Западного Кавказа значительно более сейсмоактивны. Они объединяются в рамках Семигорской зоны В03. Сейсмический потенциал ожидаемых здесь землетрясений ( $M_{\max}$ ) по разным оценкам составляет 6,5–6,8 (по шкале Рихтера). Землетрясения такой силы при глубине очагов 10–12 км могут оставлять на поверхности земли видимые сейсмодислокации как первичного (сейсморазрывы), так и вторичного (оползни, обвалы и др.) типов. В зонах высокоактивных, с геологической точки зрения, разломов можно предполагать наличие деформаций поверхности, оставленных сильными доисторическими или историческими землетрясениями. Наиболее высокоактивными в сейсмическом отношении представляются Бабичевский и Маркотхский разломы близширотной, кавказской ориентировки.

В их зонах, в траншеях, обнаружены современные разрывные нарушения с амплитудами вертикальных смещений от 0,5 до 1,0 м. При этом подвижки сбросового типа носили, по всей видимости, импульсный, сейсмогенный характер. Разрывы смещают не только поверхность коренного цоколя, но и четвертичные отложения, и даже палеопочву в зоне Бабичевского разлома, а также в северной части на центральном отрезке зоны Маркотского разлома. По амплитуде вертикальных сбросовых смещений, измеренных на основании анализа мощности горизонтов коллювиального материала, можно восстановить три сейсмических палеособытия с магнитудой до 7,0.

Для остальных разломов, отнесенных к Семигорской зоне В03, оценки возможных сейсмогенных смещений приводятся на основании сейсмостатистических данных. Так, для землетрясений с магнитудой 6,8 смещение в очаге составляет около 85 см [2]. Поэтому для трех сегментов Новороссийской поперечной зоны сбросо-сдвигов, Вышкинского, Гапоновского, Бабичевского и Маркотхского разломов даются оценки таких смещений до 0,9 м. В пользу этого свидетельствует также их высокая геодинамическая активность. Для расположенных в северной части Семигорской зоны В03 Малопанасенковского и Панасенковского разломов дается более низкая оценка — до 0,5 м.

Семигорский взбросо-надвиг является древней соскладчатой структурой, практически пассивной на новейшем этапе развития. Поэтому в сейсмическом отношении он также относится к малоактивным структурам. Амплитуда вероятных сейсмогенных смещений по нему не превышает 0,1 м.

#### ▼ Оценка скорости медленных геологических движений

В пределах зон изученных разломов как высокоактивных,

так и умеренно и слабоактивных, проведена оценка скорости медленных (криповых) смещений по отдельным разрывам. Оценка базируется на выяснении амплитуды таких движений за последние 100–300 лет (период образования современной почвы на Северо-Западном Кавказе). Непосредственно в зоне каждого из разломов отмечаются заметные вариации мощности современной почвы.

Так, в пределах северной ветви Неберджаевского разлома по буровым данным мощность современной почвы варьирует от 10 до 20 см. В пределах южной ветви того же разлома почва по мощности изменяется от 5–10 см вблизи конкретных разрывов до 28 см на ненарушенных участках. В зоне Пионерского разлома эти вариации практически отсутствуют. Возраст почвы на Северо-Западном Кавказе составляет от  $180 \pm 30$  лет до  $280 \pm 30$  лет. Следовательно, скорость смещений в зонах указанных разломов можно вычислить. Она составляет от 0,01 мм/год в зоне Пионерского разлома до 0,09 мм/год в зоне Неберджаевского разлома.

Смещения почвы (порядка 30–40 см) по отдельным разрывам встречены в зоне Данчевского разлома. Скорость медленных движений составляет около 1,5 мм/год.

В пределах осевой части Новороссийской сдвиговой зоны, имеющей север-северо-восточную ориентировку, был изучен микрограбен (структура типа pull-apart). Образование микрограбена, очевидно, произошло за счет его косо ориентировки относительно лево-сдвиговых деформаций. В этом микрограбене за последние 7 тыс. лет (по данным радиоуглеродного датирования) накопилась аномально мощная для этих мест (2 м), богатая гумусом болотная палеопочва. Таким образом, по радиоуглеродным датировкам различных слоев палеопочвы удалось определить ско-

рость опускания, которая в среднем составила 0,35 мм/год. Принимая, что при амплитуде сдвига в 1 м, амплитуда опускания такой структуры составляет 0,1 см, удалось оценить суммарную амплитуду сдвига за последние  $7030 \pm 120$  лет, которая составила 20 м. Таким образом, средняя скорость горизонтальных смещений за этот период равна 3 мм/год, при этом на отдельных временных отрезках она достигала 8 мм/год. В районе молодых оперяющих разрывов Новороссийской поперечной зоны разломов мощность современной почвы составляет 10–12 см, а на участках приразломных карманов — 30–40 см. Следовательно, скорость вертикальных движений составляет порядка 1,5 мм/год. В результате определения скоростей обеих компонент медленных геологических движений можно констатировать, что в пределах Новороссийской зоны разломов скорость движений в горизонтальной плоскости, по крайней мере, в два раза выше вертикальной составляющей.

Существенные изменения мощности почвы (порядка 15–20 см) наблюдаются также в канаве, пройденной через зону Гаповского разлома. Скорость, таким образом, составляет примерно в 1 мм/год.

Наибольшие скорости криповых движений демонстрируют наиболее активные (по другим оценкам) зоны Бабичевского и Маркотхского разрывных нарушений. Изменения мощности почвы в приразломных участках измеряются в пределах 30–50 см. Следовательно, скорость медленных смещений в среднем составляет 2 мм/год.

Таким образом, во всех случаях средняя скорость медленных, криповых смещений по разломам составляет от 0,1–0,9 мм/год в низко активных зонах разломов до 1,5–2,0 мм/год в умеренно и высоко активных. На этом фоне выделяется Новороссийская

поперечная зона разломов с существенной сдвиговой компонентой медленных смещений, где средняя скорость крипа в горизонтальной плоскости составляет 3 мм/год. Эти цифры существенно ниже тех, которые приводятся для высоко активных разломов Евразии (5 мм/год и более), для Северо-Западного Кавказа (5,9–6,4 мм/год) [3] или оценок максимальной скорости вертикальных движений земной коры на основе прямых геодезических измерений (до 12–13 мм/год для Кавказского региона) [4, 5]. В то же время, полученные значения скорости медленных геологических вертикальных движений близки к тем, которые показаны на карте современных вертикальных движений земной коры для Северо-Западного Кавказа (1,5–2,0 мм/год) [6].

На современном этапе высоко и умеренно активные в геологическом отношении разломы демонстрируют также и довольно высокий уровень сейсмической активности. Это справедливо как для разрывных нарушений продольных («кавказского простиранья»), так и для поперечных («антикавказских»). При этом медленные геологические движения за последние 100–300 лет измеряются средними скоростями 1,5–2,0 мм/год. А сейсмогенные одноактные подвижки достигают 0,5–0,9 м. В целом, и геологическая, и сейсмическая активность разрывов в приосевой части изученного сектора Северо-Западного Кавказа несравненно выше, чем на северном склоне.

Выполненные исследования показывают следующее:

— комплекс геофизических методов, включающий электроразведку, сейсморазведку и газово-эманационную съемку, позволяет на детальном масштабном уровне определить границы зон современных активных разломов и проследить особенности их строения на глубину до

первых сотен метров;

— комплекс геолого-геоморфологических методов (дешифрирование, морфометрия, «тренинг») дает возможность выявить черты поверхностной структуры разломных зон, оценить скорость медленных геологических смещений и амплитуды сейсмических подвижек.

#### ▼ Список литературы

1. Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Сейсмический потенциал Западной России, других стран СНГ и Балтии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. — М.: ОИФЗ РАН, 1993. — С.186–195.
2. Ризниченко Ю.В. От активности очагов землетрясений к сотрясаемости земной поверхности // Изв. АН СССР, Физика Земли. — 1965. — № 11. — С. 1–12.
3. Кузнецов Ю.Г., Кафтан В.И., Бебутова В.К. и др. Современные вертикальные движения земной поверхности Прикаспийского региона // Геодезия и картография. — 1997. — № 9. — С. 29–33.
4. Лилиенберг Д.А., Яценко В.Р. Основные тенденции геодинамики горных морфоструктур Большого Кавказа по новым геодезическим данным // Геодезия и картография. — 1991. — № 2. — С. 21–28.
5. Лилиенберг Д.А., Яценко В.Р. Анализ геодезических и морфоструктурных данных района катастрофического землетрясения в Армении // Геодезия и картография. — 1989. — № 10. — С. 23–29.
6. Карта современных вертикальных движений земной коры на территории Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Румынии, СССР (Европейская часть), Чехословакии. Масштаб 1:10 000 000. — ГУГК СССР, 1986.

#### RESUME

Recently the need in detail and reliable assessment of seismic hazards for the regions with new pipelines has become the most crucial. Studies of many ruptured areas in the North-West Caucasus, which the being designed oil and gas pipelines traverse are given. The faults were investigated for both their seismic activity and geological mobility.