

## ГЕОЛОГИЯ. ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

УДК 551.243.8:553.078:553.98(265.4)

### ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ И МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЯХ В ЯПОНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Л. А. Изосов, Н. С. Ли

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева,

ул. Балтийская 43, г. Владивосток, 690041,

e-mail: izos@poi.dvo.ru, lee@poi.dvo.ru

*Линеаментный анализ представляет собой комплекс геоморфологических, геологических, геофизических и других методов геологического картирования и является одним из наиболее эффективных методов изучения глубинного строения территорий. Он широко применялся при тектонических исследованиях и поисках полезных ископаемых многими зарубежными исследователями, при тектонических и металлогенических исследованиях (уран, вольфрам, флюорит-редкометальное и колчеданное оруденение, алмазы) в Японском регионе. Данная методика в качестве базовой успешно использована при разработке модели механизма формирования геологических структур центрального типа. Линеаментный анализ позволит по-новому прогнозировать характер миграции нефти и газа в земной коре и выявлять предполагаемые места их скопления.*

*Ключевые слова:* линеаменты, тектоника, металлогения, геологические структуры центрального типа, прогноз нефти и газа.

В современном понимании линеаментный анализ является одним из наиболее эффективных методов изучения глубинного строения территорий. Термин «линеамент» был предложен американским геологом У. Хоббсом в качестве обозначения линейно вытянутых элементов рельефа и геологической структуры [17]. В настоящее время линеаменты обычно рассматриваются как крупнейшие линейные, дугообразные или кольцевые элементы рельефа, связанные с глубинными разломами и зонами повышенной трещиноватости в отложениях осадочного чехла, фиксирующих разломы фундамента [1, 8, 12]. Главным классификационным признаком линеаментов является их принадлежность к разрывным структурам земной коры. Как известно, крупные разломы глубинного типа на дневной поверхности проявляют себя в геофизических полях линейными и линейно-кольцевыми аномалиями. Активные разрывные нарушения также трассируются линейно ориентированными зонами сосредоточения эпицентров землетрясений, которые выделяются как сейсмолинеаменты [13].

В сущности, линеаменты – это линии резкого изменения параметров географической, геологической и геофизической сред. В процессе линеаментного анализа могут быть выделены: 1) узкие протяженные зоны концентраций линеаментов; 2) системы субпараллельных линеаментных зон; 3) поля закономерного сочетания различных линеаментных систем. При этом линеаментные поля различаются: степенью густоты линеаментов, степенью их упорядоченности, их доминирующими простираниями, соотношением линеаментов с генеральными простираниями тектонических структур и т.п. [8]. По первичному материалу обычно выделяются: 1) линеаменты географической среды (топо-, бати-, фото-, кос-

молинеаменты); 2) линеаменты геологической структуры (гео-, тектоно-, металлолинеаменты); 3) линеаменты геофизических и прочих полей (магнито-, грави- и сейсмолинеаменты).

Линеаменты являются как разломными границами тектонических блоков разного порядка (складчатые пояса и платформенные области), так и пересекают территории с различным геологическим строением и историей развития. Среди них выделяются трансконтинентальные, трансрегиональные, региональные и локальные, выраженные на космических снимках различного уровня генерализации четкими линиями, линейными зонами с определенной внутренней структурой, и широкие (до первых сотен км) пояса.

Геоморфологические признаки линеаментов представлены пространственно упорядоченными линейно ориентированными формами рельефа, отражающими границы морфоструктур. Реконструкции рельефа позволяют получать данные о характере распределения тектонических напряжений, картировать разрывные нарушения, зоны сгущения тектонической трещиноватости и т.п. В частности, на крупно-среднемасштабных топокартах выделяются элементарные линеаменты, которые при генерализации их в более мелком масштабе объединяются в линейные, кольцевые и дуговые линеаменты и линеаменты, ограничивающие поля с однородными рисунками рельефа и гидрографической сети. Геологические признаки линеаментов – это выходы на земную поверхность разрывных нарушений, зон трещиноватости, роёв даек, жил, магматических тел линейного и кольцевого типа и т.п. Помимо геоморфологических и геологических признаков, крупные разломы земной коры на дневной поверхности проявляют себя в геофизических полях линей-



**Рис. 1. Схема дешифрирования линейных элементов рельефа на топопланах масштаба 1:50 000–1:100 000 и размещения линейных градиентов гравитационного поля Южно-Синегорской вулканотектонической депрессии [4]:**  
1 – линейные элементы рельефа, 2 – линейные градиенты гравитационного поля

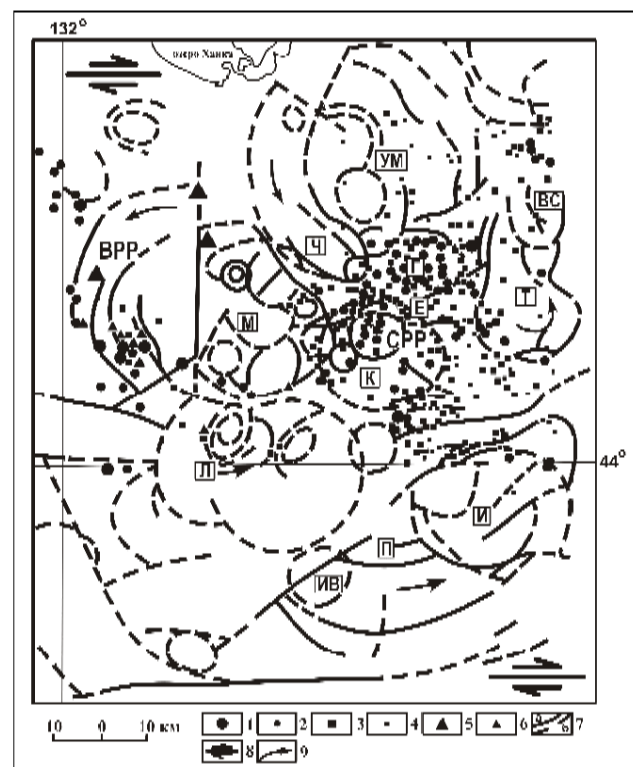
ными и линейно-кольцевыми аномалиями. Например, методы линеamentного анализа используются при геологической интерпретации карт аномального гравитационного и магнитного полей, на которых могут выделяться те или иные структурные линии. Последние могут фиксировать границы вскрытых эрозией и глубинных магматических тел, а также отражать дизъюнктивные нарушения различного ранга.

На мелкомасштабных и региональных космofотоснимках с высокой разрешающей способностью, охватывающих огромные территории, четко проявляются как линеamentы, так и многочисленные изометрические морфоструктуры кольцевого типа. По существу, схемы структурного дешифрирования космofотоснимков представляют собой отражение полей разновозрастных деформаций, наложенных друг на друга. Хотелось бы отметить хорошую сходимость данных геологической интерпретации форм рельефа и геофизических данных, например, при выделении систем скрытых разломов фундамента [12], которые фиксируются геоморфологическими и гравитационными аномалиями – протяженными линейными зонами градиентов [4, 6, 10]. Что касается кольцевых морфоструктур, то они во многих случаях отражают результаты: 1) вулканогенной аккумуляции и вулканотектонических движений (вулканотектонические поднятия и депрессии, кальдеры проседания, стратовулканы, экструзивы и т.п.) [3]; 2) становления интрузивных и вулканогенно-интрузивных куполов различной иерархии [4].

Качественные методы линеamentного анализа заключаются в совместном анализе карт линеamentов с существующими картами геофизических, геохимических, сейсмических и других полей, а также с картами различного

геологического содержания. При этом составляются карты удельной длины линеamentов, избранных простираний линеamentов, а также выделяются линеamentные узлы и однородные по рисунку рельефа участки [1].

Начиная с 60-х гг. прошлого века, Е.А. Радкевич, М.А. Фаворская, И.Н. Томсон, И.К. Волчанская и др. [1, 11, 12] разрабатывали методику дешифрирования рельефа земной поверхности и материалов дистанционного исследования Земли с целью выявления зон скрытых разломов фундамента, тектонических блоков и магматических очаговых структур, контролирующих размещение эндогенного оруденения. В целом, данные исследования были направлены на установление тектонических ослабленных зон, являющихся подводщими каналами для магматических расплавов, рудоносных «сквозьмагматических» растворов и т.п. В дальнейшем сферу линеament-



**Рис. 2. Схема вулканотектонических структур Южно-Синегорской впадины и характер размещения проявлений рудной и нерудной минерализации в Вознесенском (BPP) и Синегорском (CPP) рудных районах:**

рудная минерализация: 1 – урановые месторождения, 2 – крупные рудопроявления и аномалии радиоактивности, 3 – мелкие рудопроявления, 4 – пункты минерализации; редкометалло-флюоритовые проявления: 5 – месторождения, 6 – рудопроявления; 7 – главные разломы: а – установленные, б – выделенные по геолого-геоморфологическим данным; вулканотектонические депрессии: М – Монастыришинская, Г – Грибнинская, Л – Ляличинская, П – Потеринская, Т – Тихорецкая, И – Известкинская, Ив – Ивановская, Ч – Черниговская, ВС – Верхнесинегорская, вулканогенно-интрузивно-купольные поднятия: Е – Еловое, УМ – Усть-Медведицкое, К – Куйбышевское

тного анализа были включены и геофизические материалы (карты гравиметрических и магнитометрических съёмок), представленные в виде различных трансформаций аномальных геофизических полей [4, 9].

Таким образом, линеamentный анализ представляет собой комплекс геоморфологических, геологических, геофизических и других методов геологического картирования. При этом используются: 1) материалы космических исследований; 2) топографические и батиметрические карты; 3) карты геологического и геофизического содержания. Данный подход является одним из наиболее эффективных методов изучения глубинного строения территорий.

Линеamentный анализ широко применялся при тектонических исследованиях и поисках полезных ископаемых также многими зарубежными исследователями [14, 16], которые обычно использовали термин «линеament» в основном в понимании У. Хоббса, то есть как прямолинейный элемент рельефа. Такой подход, конечно, в значительной мере сузил возможности выявления различных тектонических элементов.

Методика линеamentного анализа была применена при тектонических и металлогенических исследованиях

(уран, вольфрам, флюорит-редкометальное и колчеданное оруденение, алмазы) в Япономорском регионе. Данные исследования были направлены на выявление магмоконтролирующих разломов фундамента [12] и кольцевых рудоконтролирующих структур, а также потенциально алмазоносных локальных морфоструктур (трубчатого типа); [2–4, 6, 10, 15, 18–20 и др.] (рис. 1–4).

Линеamentы кольцевого и полукольцевого типа могут служить возможными индикаторами структурных элементов вулканотектонических депрессий и поднятий, кальдер проседания, кольцевых магматических тел и вулканических жерловин, во многих случаях контролирующая эндогенное оруденение [3, 6]; (рис. 2). При этом фотоаномалии так называемого «трубчатого» типа могут фиксировать эксплозивные трубки ультраосновного состава – алмазоносные кимберлиты и родственные им породы [4]; (рис. 4). Считается, что поступлению первичного магматического расплава из мантии способствуют ослабленные зоны – зоны растяжения. Приуроченность эксплозивных трубок ультраосновного-щелочного состава к определенным зонам разломов указывает на высокие перспективы линеamentного анализа в этом направлении.

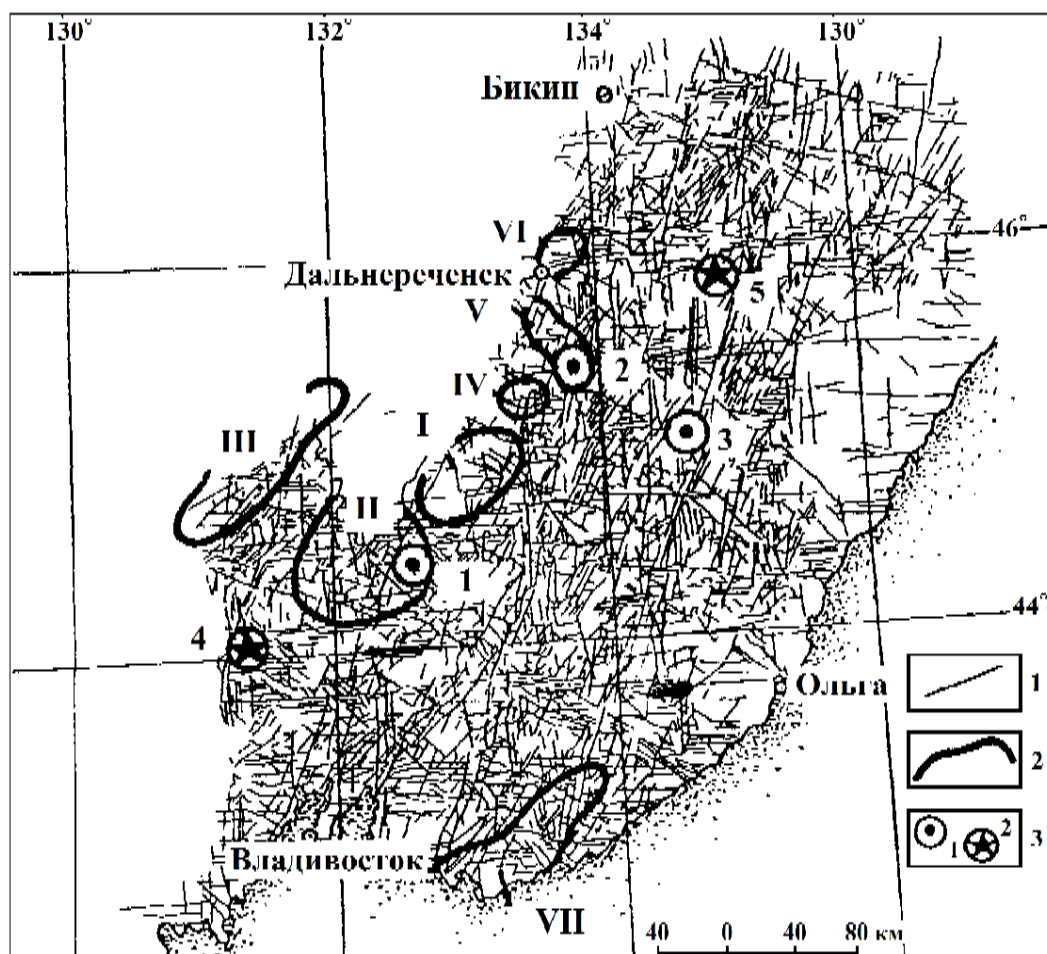
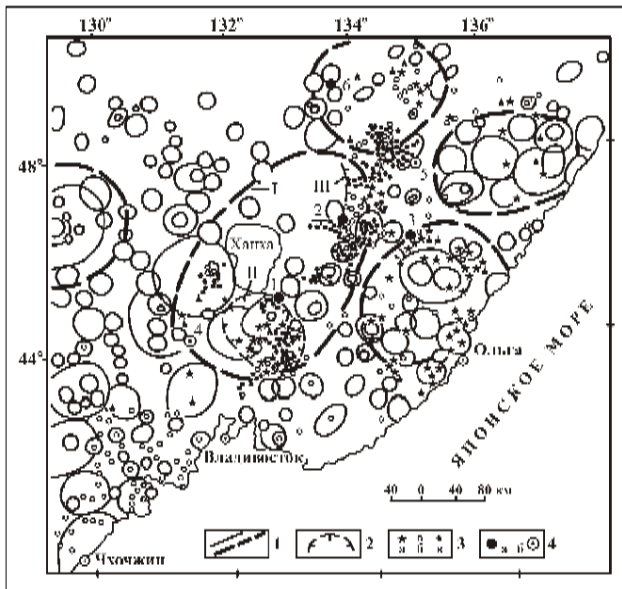


Рис. 3. Схема индикаторов разломов и архейских выступов Приморья [4]:

1 – индикаторы разломов, 2 – границы архейских выступов: I – Нахимовского, II – Первомайско-Ярославского, III – Западно-Приморского-Новокачалинского (Краевского), IV – Тихменевского, V – Тамгинского, VI – Дальнереченского, VII – Сергеевского; 3 – проявления алмазов в коренных породах (а): Малоключевское (1), Курханское (2), Комсомольское, или Нангоу (3) и в золотоносных россыпях (б): Фадеевское (4) и Незаметнинское (5)





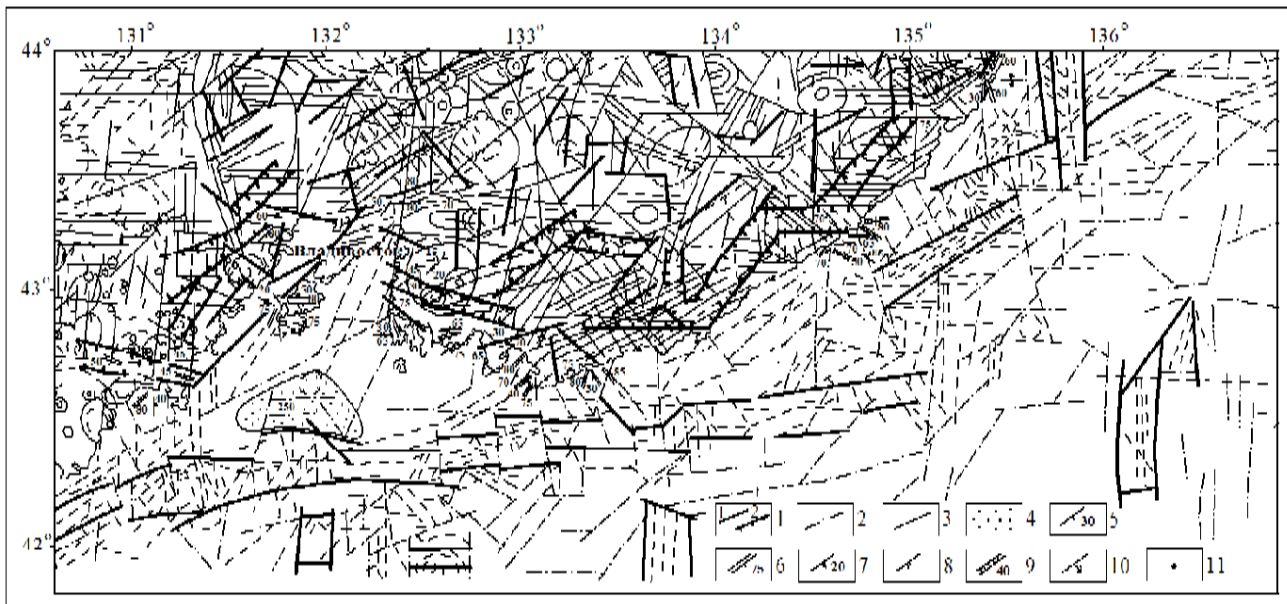
**Рис. 4. Схема размещения кольцевых структур в Приморье и на прилегающих территориях Китая и Кореи [4]:**

1 – границы кольцевых структур преимущественно магматического происхождения (а) и неясного генезиса – возможно, полигенных вулканотектонических (б); I – Ханкайской; 2 – границы платформенных прогибов: II – Южно-Синегорского и III – Кабаргинского; 3 – вулканические аппараты установленные (а), отдешифрированные на космодотоснимках (б) и выделенных по данным радиолокационной съёмки масштаба 1:100 000 (в); 4 – проявления алмазов: в коренных породах (а) и россыпях (б): Малоключевское (1), Курханское (2), Комсомольское, или Нангоу (3), Фадеевское (4), Незаметнинское (5) и Жаохэ (6)

Показательным результатом проведения таких исследований является карта линеаментов Южного Приморья и прилегающей акватории Японского моря [5]; (рис. 5). При её составлении с целью заверки выделенных линеаментов были использованы данные: 1) дешифрирования космодотоснимка Южного Приморья (масштаб 1:1 000 000), 2) дешифрирования батиметрической карты Японского моря (масштаб 1:1 000 000), 3) геологической интерпретации аномального гравитационного поля в редукции Буге (масштаб 1:1 000 000), 4) геологических наблюдений Л.А. Изосова в процессе проведения мелко-

масштабной геологической съёмки шельфа Японского моря и его континентального обрамления (ОАО «Дальморгеология», 2002 г.). При этом было установлено, что зачастую линеаменты фиксируются дайками основных и кислых пород, зонами дробления, милонитизации, рассланцевания и повышенной трещиноватости пород, а также интрузивными контактами.

В настоящее время данная методика в качестве базовой успешно использована при разработке модели механизма формирования геологических структур центрального типа, в том числе окраинных морей Западно-



**Рис. 5. Схема линеаментов Южного Приморья и прилегающей акватории Японского моря [5]:**

1 – гравитационные аномалии типа «над ступенью» (1), то же – с предполагаемым направлением падения (2); 2 – структурные линии, намеченные по конфигурации гравитационных аномалий; 3 – линеаменты, выделенные на многозональных космодотоснимках масштаба 1:1 000 000 (1), то же – на топооснове и батиметрических картах Японского моря масштаба 1:200 000 и 1:1 000 000 (2); 4 – депрессия акустического фундамента и её глубина в метрах по данным сейсмопрофилеирования; 5 – дайки основного и ультраосновного состава; 6 – то же – кислого состава; 7 – кварц и кварц-калиево-полевошпатовые жилы; 8 – зоны дробления и милонитизации пород; 9 – зоны рассланцевания; 10 – зоны повышенной трещиноватости; 11 – интрузивные контакты; 12 – точки геологических наблюдений

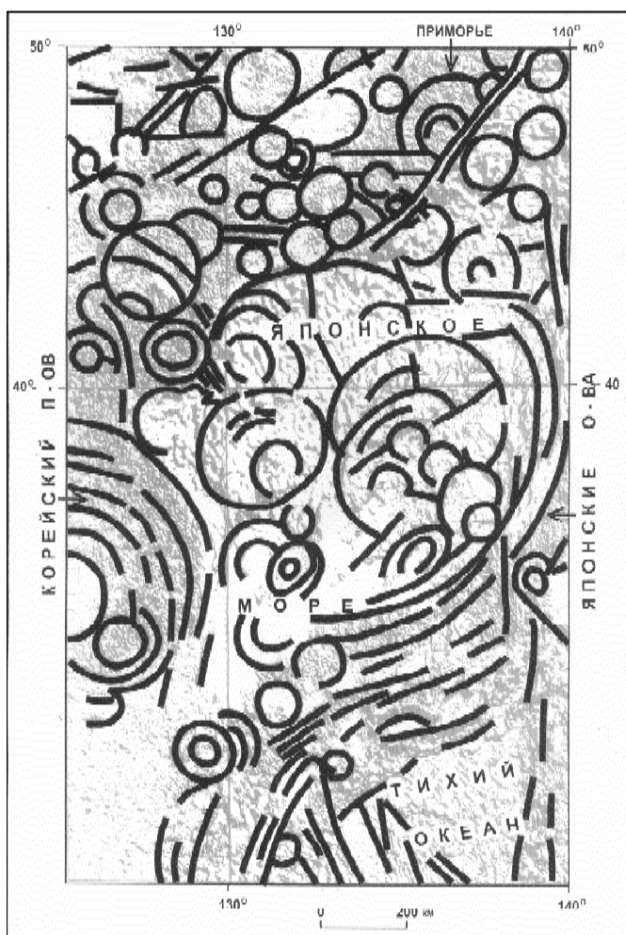


Рис. 6. Схема размещения главных морфоструктур центрального типа в Япономорском звене (рельеф – база данных альтиметрии ETOPO\_1; [http://topex.uscd.edu/cgi\\_bin/get\\_data.cgi](http://topex.uscd.edu/cgi_bin/get_data.cgi)) [7]

Тихоокеанской зоны перехода континент – океан [7]; (рис. 6, 7). В рассматриваемом случае последние выделяются как литосферные вихревые структуры.

Представляется, что линеаментный анализ в рассматриваемом объеме позволит по-новому прогнозировать характер миграции углеводородов в земной коре и выявлять предполагаемые места их скопления. Его следует применить в качестве подготовительного этапа при исследовании нефтегазоносности Японского и Охотского окраинных морей, а также Арктических бассейнов, где Тихоокеанским океанологическим институтом ДВО РАН активно ведутся экспедиционные работы. В принципе, проявления нефти и газа контролируются теми же самыми морфоструктурами, отражающими тектонические ослабленные зоны. При исследовании линеаментной тектоники необходимо обращать внимание на места пересечения линеаментов со сводовыми поднятиями, на выявление палеорифтов, авлакогенов и других древних прогибов, выполненных мощными толщами осадков, поскольку к ним часто приурочены скопления нефти и газа. Существует мнение [8 и др.], что для вертикальной миграции углеводородов наиболее пригодная геодинамическая обстановка – это обстановка растяжения. Таким образом, следует привлекать для прогностических исследований системы



Рис. 7. Морфоструктурная схема Тихоокеанского региона [7]

сейсмолинеаментов, фиксирующих долгоживущие подвижные зоны рифтогенного типа.

В процессе проведения подготовительного этапа поисков нефти и газа следует использовать региональные и крупномасштабные космофото снимки, батиметрические карты и карты рельефа дна морей, составленные по альтиметрическим данным, а также карты геофизических полей и карты теплового потока. Итоговым документом таких построений должна стать тектоническая карта исследуемого региона с выделенными на ней прогнозными участками на тот или иной вид полезных ископаемых. При поисках нефти и газа в акваториях Японского, Охотского и Арктических морей можно будет целенаправленно задавать линии буровых скважин, а также – отдельных буровых скважин в наиболее перспективных точках.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Анализ космических снимков при тектономагматических и металлогенических исследованиях. М.: Наука, 1979. 164 с.
2. Изосов Л.А., Василенко Н.Г., Мельников Н.Г., Петрищевский А.М. Вольфрамоносная олистострома Центрального Сихотэ-Алиня // Геотектоника. 1988. № 3. С. 76–87.
3. Изосов Л.А., Горошко М.В. Южно-Синегорская впадина Приморья: геологическое строение и развитие // Отечественная геология. 2006. № 3. С. 33–41.
4. Изосов Л.А., Коновалов Ю.И., Емельянова Т.А. Проблемы геологии и алмазоносности зоны перехода

- континент–океан (Япономорский и Желтоморский регионы). Владивосток: Дальнаука, 2000. 326 с.
5. Изосов Л.А., Кулинич Р.Г., Мельниченко Ю.И., Емельянова Т.А. Разломная сеть Южно-Приморского сектора зоны сочленения континент-океан // Проблемы морфотектоники Западно-Тихоокеанской переходной зоны. Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 103–113.
  6. Изосов Л.А., Рязанцева М.Д. Палеозойские магматические комплексы юга Ханкайского массива // Советская геология. 1977. № 2. С. 77–90.
  7. Изосов Л.А., Чупрынин В.И. О механизме формирования структур центрального типа Западно-Тихоокеанской зоны перехода континент-океан // Геотектоника. 2012. Т. 46, № 3. С. 70–92.
  8. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцев Э.Ф. Основы линейamentной тектоники. М.: Недра, 1986, 144 с.
  9. Ли Н.С. О связи землетрясений с глубинным строением Япономорского звена Западно-Тихоокеанской зоны перехода континент – океан // Региональные проблемы. 2013. Т. 16, № 2. С. 25–29.
  10. Петрищевский А.М. Плотностная неоднородность литосферы юго-восточного обрамления Северо-Азиатского кратона // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 5. С. 566–583.
  11. Рудоконтролирующие структуры Азии и их металлогения. М.: Недра, 1983. 193 с.
  12. Связь магматизма и эндогенной минерализации с блоковой тектоникой. М.: Недра, 1969. 264 с.
  13. Уломов В.И. Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент: ФАН. 1974. 218 с.
  14. Casas A., Cortes M., Angel L. et al. A program for lineament length and density analysis // Computers and geosciences. 2000. Vol. 26(9). P. 1011–1022.
  15. Ejov B.V., Izosov L.A. Diamond content of Primorskij kraj according to data of analysis of focus structures – center of endogenic activity // Geotectonica et Metallogenia. 1995. V. 19. N2–3. SUM 11. P. 1–11.
  16. Ehsan G. Investigation of lineaments in Tehran province of the basis of remote sensing techniques // Intern. Journ. of Geomatics and Geosciences. 2012. Vol. 3. № 2. P. 339–350.
  17. Hobbs W.N. Lineaments of the Atlantic border region // Bull. Geol. Soc. Amer., 1904. Vol. 15. P.483–506.
  18. Izosov L.A. Korean-Khanka Riftogenic Zone: potential-diamondiferous structure // Evolution and Dynamics of the Asian Seas. Seoul: Korean Soc. of Oceanogr. 1996. P. 187–200.
  19. Izosov L.A. Paleotectonics and paleometallogeny of Japan Sea continent–ocean transitional zone // Metallogeny of the Pacific Northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 105–107.
  20. Vrublevsky A.A., Izosov L.A., Yushmanov Yu.P. Mineragenic implications of the Sikhote-Alin Olistostromes // Fifth Circum-Pacific energy and mineral resources conference transactions // Houston: Gulf. Publish. Comp., 1998. P. 259–266.

*The lineament analysis represents a complex of geomorphological, geological, geophysical and other methods of geological mapping, and it is one of the most effective methods for the territories deep structure study. It was widely applied in tectonic investigations and searches of mineral resources by many foreign researchers, in tectonic and metallogenic researches (uranium, tungsten, fluorite-rare metallic and a copper-polymetallic ores, diamonds) in the Japan Sea Region. This method, as a basic one, is successfully used when developing the model for the formation mechanism of central type geological structures. The lineament analysis allows forecasting the features of oil and gas migration in crust and revealing prospective places of their congestion in a new way.*

**Keywords:** lineaments, tectonics, metallogenic, central type geological structures, oil and gas forecast.