

и газа. 2020. № 29. С. 26–31. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/350232616/> (дата обращения: 1.12.2021).

9. *Шустер В. Л.* Прогноз и поиски нефтегазовых скоплений в неантиклинальных ловушках – важный элемент новой стратегии развития нефтегазовой геологии // О новой парадигме развития нефтегазовой геологии : материалы междунар. науч.-практ. конф. Казань : Ихлас, 2020. С. 32–35.

10. *Абукова Л. А., Карцев А. А.* Флюидные системы осадочных нефтегазоносных бассейнов (типы, основные процессы, пространственное распространение) // Отечествен. геология. 1999. № 2. С. 11–16.

УДК 553.982:550.4

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СКОПЛЕНИЙ В НЕАНТИКЛИНАЛЬНЫХ ЛОВУШКАХ

С. А. Пунанова

Институт проблем нефти и газа РАН,
ул. Губкина 3, 119333 Москва, Российская Федерация; punanova@mail.ru

В докладе рассмотрены несколько направлений геохимических исследований нафтидов, объединенных одной идеей – приближением геохимических исследований к реальным нефтегеологическим разработкам. Приводятся рекомендации по применению геохимических микроэлементных показателей в нефтегазопроисковой геохимии на различных стадиях геолого-разведочных работ при прогнозе перспективности комбинированных ловушек и качественного состава углеводородов в них.

Ключевые слова: геохимические исследования; микроэлементные показатели; нефти; конденсаты; неантиклинальные ловушки.

The report considers several directions of geochemical research of naphthides, united by one idea – the approximation of geochemical research to real oil and geological developments. Recommendations are given on the use of geochemical trace element indicators in oil and gas exploration geochemistry at various stages of geological exploration when predicting the prospects of combined traps and the qualitative composition of hydrocarbons in them.

Key words: geochemical studies; trace element indicators; oils; condensates; non-anticlinal traps.

Приоритетные направления развития нефтегазового комплекса – это системный подход к оценке перспектив нефтегазоносности регионов, т. е. разведка и разработка глубоких горизонтов с плохопроницаемыми коллекторами и нетрадиционными ресурсами, нефть в фундаменте, морские разработки и разведка и добыча на шельфе, сланцевые формации – сланцевые нефть и газ. Главная роль при этом отводится методическим и практическим приёмам поиска и оконтуривания ловушек комбинированного строения, неотъемлемой составляющей которых являются геохимические исследования.

Геохимическим методам придаётся огромное значение, т. к. с их внедрением связано повышение эффективности нефтегазопроисковых исследований, снижение затрат на поиски и разведку скоплений углеводородов (УВ). Геохимия стала обязательным элементом исследований при прогнозе, поисках, разведке и разработке месторождений нефти и газа [1].

Геохимические методы *приобретают понятие парадигмы*. Парадигма призвана геохимическими методами на основании детальных геологических знаний способствовать решению глобальных проблем нефтяной геологии. Парадигма тогда жизнеспособна и тогда хорошо работает, когда при постановке практической задачи основывается на грамотной методологии – геохимических методах [2]. Анализ литературного и экспериментального материала по геологии и геохимии нафтидов нефтегазоносных бассейнов (НГБ) различного тектониче-

ского строения, проведённый автором, достаточно определённо свидетельствует, что физико-химические свойства нефтей, УВ состав, содержание и соотношения в них рудных компонентов есть функция исходного органического вещества (ОВ), лито-фациальных условий захоронения, последующей аккумуляции и разрушения скоплений, результатов геодинамических эндогенных и экзогенных процессов, т. е. геологической истории развития осадочного бассейна. Охарактеризованы генетические модели нефтей в связи со стадиями онтогенеза по их фазовому состоянию, физико-химическим свойствам и степени их обогащённости микроэлементами (МЭ) и даны рекомендации по практическому использованию МЭ-критериев нафтидов для оценки перспектив нефтегазоносности. Таким образом, геохимия МЭ нафтидов становится не только научной, но и прикладной дисциплиной [3].

По виду решаемых задач геохимические исследования, являющиеся составной частью комплекса поисково-разведочных работ на нефть и газ, и в т. ч. поиска ловушек неантиклинального строения, принято подразделять на следующие группы [4].

1. Геохимические методы прогноза вероятной нефтегазоносности региональных и локальных элементов геологического районирования. Сюда входит широкий цикл исследований по диагностике и выделению нефтегазопроизводящих нефтематеринских свит, корреляция данных УВ- и МЭ-состава в системе нефть – рассеянное ОВ, выявление очагов генерации, условий первичной и вторичной миграции УВ, условий аккумуляции и сохранения УВ в ловушках.

2. «Прямые геохимические методы» поисков месторождений нефти и газа, целью которых является оценка продуктивности конкретных площадей или структур. Осуществляются, как правило, методами различных видов геохимических съёмок.

3. Геохимические методы выявления продуктивных пластов, размеров и заполненности ловушек в поисково-разведочных скважинах. К этим методам относятся методы газового каротажа и битуминологические.

Коллективом учёных-геохимиков разработан ряд эффективных геохимических методов, предназначенных для решения как региональных, так и локальных поисковых и оценочных задач, а также мониторинга процессов разработки месторождений при изучении неантиклинальных ловушек.

В этой связи, для изучения вопросов нефтегенерации и прогноза перспективности территорий предложен целый комплекс МЭ-показателей и внедрен новый метод геохимических исследований – микроэлементная геохимия нафтидов. Основные геохимические МЭ-показатели сгруппированы по рекомендациям их использования в различных геохимических аспектах и показаны в табл. Отметим, что в табл. показаны лишь МЭ-показатели. В исследованиях при решении конкретных задач мы использовали целый комплекс более широких геохимических показателей: физико-химические свойства нефтей, их УВ-состав. Важно подчеркнуть, что приводимое как нами, так и другими исследователями разграничение геохимических задач по этапам ГРП достаточно условно, эти задачи перекликаются и возможно решаются комплексно и системно на всех этапах.

На *региональном этапе* необходимым инструментом геохимической оценки перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов является изучение стадийности катагенетического преобразования ОВ. В ходе катагенеза нефтеобразование в существенных масштабах начинается с конца градации протокатагенеза (ПК₁) и протекает до середины мезокатагенеза – МК₂. В конце протокатагенеза битумообразование резко возрастает, в мезокатагенезе достигает максимальной интенсивности и в дальнейшем постепенно затухает по мере истощения нефтематеринского потенциала ОВ. Интервал шкалы катагенеза от ПК₃ до МК₂ ($R^0 = 0,4-1,15$) выделен в качестве главной фазы нефтеобразования. В разрезе осадочных бассейнов ей соответствует главная зона нефтеобразования.

Таблица – Примеры использования геохимических МЭ-показателей в нефтегазопроисходной геохимии на различных стадиях геолого-разведочных работ

Аспекты	Используемые показатели	Тенденции изменения	Регионы, НГБ
Региональный этап			
Стадийность катагенетического преобразования ОБ пород	Содержание МЭ, дифференцированных по их приуроченности к смолисто-асфальтовым компонентам	При увеличении катагенеза содержание V, Ni, Co, Mo, Vp, Nip уменьшается	Предорогенные прогибы, Паннонский бассейн, юрские отложения Западной Сибири
Поисковый этап			
Локальный прогноз нефтегазоносности	V/Zn, Ni/Zn, V/Cu, Ni/Cu, V/Br, Ni/Br, Co/Zn, Sc/Ba	Различия концентраций в нефтях и конденсатах	Западная Сибирь, Прикаспийский, Новая Зеландия
Генетическая типизация: корреляция нефть – нефть	Содержание Co на кокс, генетический показатель V/Ni и др.	Близкое содержание в генетически единых нефтях	Западное Предкавказье
Диагностика нефтематеринских свит, корреляция нефть – рассеянное органическое вещество	V, Ni, Fe, Cu, Zn, Pb, Co; Ni/Co, Fe/Co, Zn/Co, Ni/Cu, V/Ni; карты распределения содержания V и ванадилпорфиринов; сопоставительные кривые	Уменьшение от син- к эпигенетическим. Подobie концентраций и МЭ-соотношений при корреляции	Тимано-Печорский, Пермское Приуралье, Восточное Предкавказье, Западно-Сибирский и Предкарпатский
Оценка очагов генерации нефти	Концентрационные ряды V, Ni, Fe, Co, Zn, Cu; отношения МЭ, поля концентраций МЭ в нефтях и ОБ	Типизация нефтей и битумоидов по концентрациям и МЭ-соотношениям	Глубокопогружённые отложения Западно-Сибирского НГБ
Вторичная миграция	Ni/Cu, V/Cu, Co/Cu	Уменьшение величин отношений	Эксперимент. Восточное Предкавказье
Разведочный этап			
Влияние эндогенных и экзогенных процессов на МЭ состав нафтидов	Оценка корреляционных связей МЭ состава нафтидов с составом земной коры различного уровня	Различия коэффициентов корреляции МЭ-состава нафтидов и состава земной коры	Западно-Сибирский, Западно-Камчатский, Волго-Уральский (Ромашкинская группа месторождений)
Прогноз состава нефтей и фазового состояния флюидов	Концентрационные ряды, соотношения МЭ на основе разработанной типизации нефтей	Обогащённость или обеднённость нафтидов комплексом МЭ	Тимано-Печорский, Венесуэльский, Волго-Уральский и др.
Диагностика нефтенасыщенных прослоев «тонких» ловушек сланцевых формаций	Содержание $C_{орг}$, битуминозный коэффициент (β), УВ состав, МЭ соотношения и концентрации	Низкие концентрации $C_{орг}$ и β . Обогащены подвижными (Cu, Au, As) и обеднены менее подвижными (V, Ni, Co, Mo) элементами	Доманиковые и баженовские сланцевые формации Волго-Уральского и Западно-Сибирского НГБ
Экологические риски при разработке сланцевых плесов	Потенциально токсичные элементы в сланцах	Часто повышенные концентрации МЭ, усугубляющиеся при разработке	Горючие и чёрные сланцы Швеции, Польши, Беларуси, США, России и др.

Работы в этом направлении были предприняты нами при оценке перспектив нефтегазоносности глубокозалегающих юрских и доюрских отложений севера Западной Сибири в нетрадиционных ловушках [5]. В этих исследованиях рассматривались результаты многокритериальной оценки перспектив нефтегазоносности глубокозалегающих ниже-среднеюрских и доюрских, включая палеозойские, отложений Ямальского п-ва с прилегающими территориями и акваторией Карского моря. Отмечено, что нетрадиционные комбинированные ловушки

глубокозалегающих отложений севера Западной Сибири, а также центральных регионов Западно-Сибирского НГБ представляют значительный интерес с точки зрения прироста ресурсов и запасов нефти и газа. Для выбора первоочередных объектов поисково-разведочных работ на нефть и газ в отложениях нижнего (платформенного) этажа – доюрских нефтегазоносных комплексов – использована геолого-математическая программа «Выбор», с помощью которой на основе интегральной оценки значений ряда геолого-геохимических параметров возможно осуществить выбор наиболее перспективных локальных объектов и ранжировать их по степени «благоприятности», выделив наиболее перспективные. Для этого был предложен ряд геохимических параметров, успешно зарекомендовавших себя при решении аналогичной задачи в регионе Ханты-Мансийской впадины. При реконструкции процессов и построении моделей использовались наряду с геолого-геофизической информацией МЭ характеристики нафтидов, в частности, привлечены данные по содержанию в нефтях и битумоидах V и ванадилпорфиринов, количественные изменения которых свидетельствуют о процессах катагенного преобразования нафтидов [5].

На *поисковом этапе* методом органической геохимии решается комплекс задач, способствующих более эффективной оценке перспективности бассейнов. Это диагностика нефтематеринских свит, выявление источников генерации УВ и направления путей миграции, оценка фазового состояния скоплений и др. Все эти исследования оценивают в конечном итоге перспективность ловушек, как правило неантиклинальных комбинированных, сложных – вместе с ожидаемых скоплений. Сходство нефтей и сингенетичных хлороформенных битумоидов пород по распределению УВ и МЭ может свидетельствовать об участии этих толщ в процессах нефтеобразования. Генетические связи нефть–ОВ рассмотрены нами на примере распределения МЭ в нефтях и битумоидах Прикумско-Сухокумской зоны поднятий Восточного Предкавказья.

Для прогноза фазового состояния УВ скоплений нами разработаны МЭ показатели различия нефтяных и газоконденсатных систем. Исходя из характера распределения МЭ в нефтях и конденсатах исследованных НГБ, предлагается проводить дифференциацию разрабатываемых систем, используя абсолютные концентрации тех элементов, которые в нефтях и конденсатах различаются более чем на порядок. Кроме абсолютного содержания МЭ, диагностическими показателями вторичных газоконденсатных залежей могут служить отношения содержания МЭ: V/Zn, Ni/Zn, V/Cu, Ni/Cu, V/Br, Ni/Br, Co/Zn, Sc/Ba (в числителе элементы, накапливающиеся в тяжёлых компонентах нефтей, а в знаменателе – в лёгких), которые имеют тенденцию к стабильному снижению от нефтей к конденсатам и могут быть использованы для мониторинга перемещения газонефтяных контуров при разработке газоконденсатных месторождений [6].

На *разведочном этапе* исследований наиболее значимой для нас является возможность прогнозировать качество флюидов в комбинированных ловушках. Основываясь на существующей в природе флюидо-геохимической зональности размещения скоплений УВ, можно прогнозировать нахождение нефтей определённого генетического типа, определённых физико-химических свойств, МЭ- и УВ-составов в комбинированных ловушках, закартированных в нефтегазоносных регионах на искомом уровне этой вертикальной шкалы. Однако этот постулат будет справедлив, если ловушки заполнялись в одно время (период), и тогда нефти должны быть одного генетического типа, сообразно своему онтогенезу. Если же геологическая история формирования ловушек более сложна, и их образование происходило в разные геологические эпохи, и источники нефти были разными, то тогда можно констатировать многофазное заполнение ловушек нефтью нескольких генераций. В таких ситуациях возможен дополнительный подток УВ в уже сформировавшуюся ловушку, которая имеет, как правило, комбинированный, осложнённый тип (рис.).

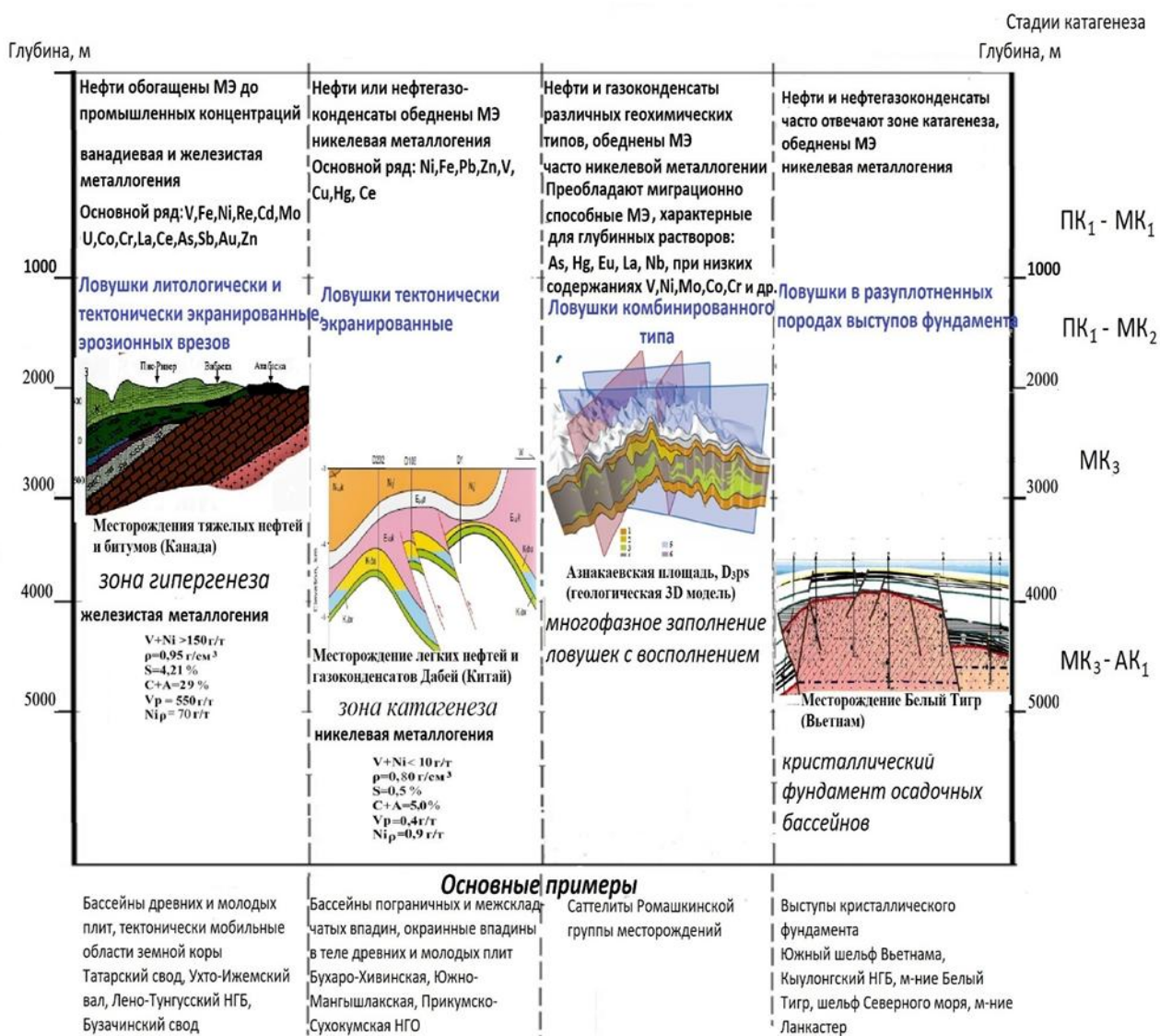


Рисунок – Схема-модель прогнозной оценки усреднённой характеристики нефтидов, скапливающихся в ловушках комбинированного типа

Таким образом, нефти главной зоны нефтеобразования (ванадиевая металлогения) и нефти ранней стадии генерации (никелевая металлогения), приуроченные отчасти к ловушкам антиклинального типа, в большей степени несут на себе влияние верхней осадочной коры, больше содержат хемофоссилий (Fingerprint) и элементов, характерных для исходного органического материала, т. е. порфиринов, V, Ni, Mo, Co и др.

В зонах глубокого катагенеза при сильной дислоцированности территорий их тектоническая активность провоцирует формирование ловушек в большей мере неантиклинального, неструктурного, комбинированного типа. Именно в этом типе ловушек сосредоточены основные запасы месторождений УВ, открываемых в настоящее время [7]. Часто встречаются тектонически экранированные залежи, что связано со спредингом на окраинах континентов. Ловушки подобного типа могут быть насыщены нефтями повышенной катагенной преобразованности, они значительно подвержены процессам глубинной переработки. Кроме того, возможно претерпели и миграционные существенные изменения. Они содержат другой набор МЭ, токсичных и летучих, ассоциированных с более лёгкими нефтяными компонентами, вероятно часть из которых связана с глубинными процессами в недрах земли (As, Hg, Al, Sb, B, Li, PЗЭ и др.). Залежи таких нефтей с низким содержанием асфальтово-смолистых компонен-

тов из глубоких горизонтов (более 4,5 км) могут характеризоваться хорошей изоляцией от поверхностных агентов деструкции.

В регионах гипергенного выветривания также преобладают нетрадиционные ловушки. Как правило, это неструктурные залежи сложного комбинированного типа, часто тектонически-экранированные в связи с образованием поднадвиговых зон выклинивания и литологического замещения. Аномальное же обогащение нефтей зоны гипергенеза V, Ni, Mo, Re, Cd, Hg, U и другими элементами, вплоть до промышленных рудных концентраций, может объясняться их биodeградацией, выветриванием, потерей лёгких масляных УВ фракций, и соответственно накоплением МЭ.

Основным источником нефти в залежах кристаллического фундамента является ОВ нефтематеринских осадочных толщ, облекающих выступы фундамента. Именно поэтому, геохимические особенности флюидов месторождений фундамента подчиняются тем же закономерностям, что и нефти, залегающие в осадочных толщах бассейна и обрамляющие их.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме: «Развитие научно-методических основ поисков крупных скоплений УВ в неструктурных ловушках комбинированного типа в пределах платформенных нефтегазоносных бассейнов», АААА-А19-119022890063-9.

Библиографические ссылки

1. *Конторович А. Э.* Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. М. : Недра, 1976.
2. *Пунанова С. А.* Геохимическая парадигма при прогнозе качества нефтей в ловушках комбинированного строения // Материалы Междунаро. науч.-практ. конф. «О новой парадигме развития нефтегазовой геологии». Казань : Ихлас, 2020. С. 119–122.
3. *Пунанова С. А.* Прикладная металлогения нафтидов [Электрон. ресурс] // Актуал. проблемы нефти и газа. 2017. Вып. 2(17). С. 1–12. URL: http://oilgasjournal.ru/issue_17/punanova.pdf (дата обращения: 1.12.2021).
4. *Жильцова А. А., Исаев В. И., Коржов Ю. В.* Миграция углеводородных флюидов геохимический метод индикации залежей // Регион. проблемы. 2010. Т. 13, № 1. С. 11–17.
5. *Шустер В. Л., Пунанова С. А.* Перспективы нефтегазоносности глубокозалегающих юрских и доюрских отложений севера Западной Сибири в нетрадиционных ловушках // Георесурсы. 2021. № 23(1). С. 30–41.
6. *Пунанова С. А., Самойлова А. В.* Прогноз фазового состояния залежей углеводородов в ловушках комбинированного строения [Электрон. ресурс] // Актуал. проблемы нефти и газа. 2021. Вып. 2(33). С. 15–27. URL: <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-33.art2> (дата обращения: 1.12.2021).
7. *Dolson J., He Zhiyong, Horn B. W.* Advances and Perspectives on Stratigraphic Trap Exploration-Making the Subtle Trap Obvious // Search and Discovery. Art. N 60054. 2018. June 18.

УДК 622

ВЫЗВАННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТОКСИЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩ

С. А. Пунанова¹, М. В. Родкин^{1, 2}

¹Институт проблем нефти и газа РАН,

ул. Губкина 3, 119333 Москва, Российская Федерация; punanova@mail.ru

²Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,
ул. Профсоюзная 84/32, 117997 Москва, Российская Федерация; rodkin@mitp.ru

В докладе рассматриваются экологические риски, наблюдаемые при разработке сланцевых формаций. Негативные последствия и ущерб окружающей среде приносят возникающие при горизон-