

УДК 550.8314

Методика изучения транзитных зон (на примере Пермского края)

Ж.А. Хакимова

Общество с ограниченной ответственностью «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»

614068, Пермь, ул. Ленина, 62. E-mail: lp@lp.lukoil.com

(Статья поступила в редакцию 25.08.2025 г.)

На основании опыта работ в Пермском крае, а также других регионах в бассейне р. Камы рассмотрены особенности проведения сейсморазведочных работ в транзитных зонах, которые являются мелководными акваториями, недоступными для изучения методами только речной или сухопутной сейсморазведки. Успешное выполнение сейсморазведки в таких зонах связано с применением ряда новых технологий, включая возбуждение колебаний взрывным источником, размещаемым в скважинах ниже иловой зоны дна водоема, комплекс малогабаритной техники и бурового оборудования, позволяющий выполнять работы на покрытом льдом водоеме.

Ключевые слова: *геофизика, сейсморазведка, транзитные зоны, мелководные акватории.*

DOI: 10.17072/psu.geol. 24.4.365

Введение

Пермский край является одним из старейших нефтедобывающих регионов России. В 1929 году была найдена нефть в артинских отложениях на месторождении Верхнечусовские городки, а в 1945 году в девонских отложениях на Северокамском месторождении.

В современных условиях поддержание нефтедобычи связано с разведкой новых месторождений в районах, которые ранее считались труднодоступными из-за сложных геологических условий, а также с постоянным развитием новых и совершенствованием существующих технологий.

В Пермском крае новые месторождения могут быть ассоциированы как с высокоперспективными тектоническими структурами (Фрик, 2007), так и с другими районами (Пятунина, 2007). Современные направления технологий связаны со строительством боковых стволов (Варушкин, Хакимова, 2018), внедрением новых методов акустического каротажа (Адиев и др., 2022), опробования пластов в поисково-разведочных скважинах (Савич и др., 2025), бескабельных сейсморегистрирую-

щих систем (Лаптев, Спешилов и др., 2024), облачных технологий (Шестакова, 2023), сейсмоакустических методов повышения нефтеотдачи пластов (Данилова, 2023), новых методов работы в транзитных зонах (Лаптев, Хакимова, 2024; Хакимова, Шумилов, 2025; Хакимова, Геник и др., 2025).

Транзитные зоны: проблемы и перспективы освоения

Транзитная зона (Хакимова, Шумилов, 2025) – мелководье (глубины менее 10–15 м) вдоль береговой линии морей, рек, озер, водохранилищ. Иногда к транзитным зонам (ТЗ) относят болота вдоль берегов и зоны с непостоянным уровнем вод. В ТЗ затруднено использование обычной методики морской/речной сейсморазведки и де-факто происходит переход к технологиям сухопутной сейсморазведки.

В России интерес к исследованию транзитных зон стал возрастать по следующим причинам.

Во-первых, геологические причины. По мере исчерпания перспективных объектов на суше (Хакимова, Шумилов, 2025), внимание

© Хакимова Ж.А., 2025



Работа лицензирована в соответствии с CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

начинает смещаться на сопредельные акватории, поскольку нефтегазоносные районы суши часто имеют там продолжение. В России имеются нефтяные месторождения, которые частично расположены под дном рек и водохранилищ: Приобское и Самотлорское (ХМАО), Осинское и месторождение имени В.П. Сухарева (Пермский край) и др. Перспективные объекты такого рода наиболее вероятны в пределах Волго-Уральского и Западно-Сибирского НГБ.

Во-вторых, технологические причины. Как в России, так и в Пермском крае рост добычи нефти, начиная со второй половины 1990-х гг., был обеспечен с технологической стороны массовым применением следующих инноваций: сейсморазведка 3D, наклонное и горизонтальное бурение (НиГБ), гидроразрыв пластов. При этом эффективность НиГБ и гидроразрыва обеспечивается на основе сейсморазведки 3D. В отличие от сейсморазведки 2D, где профили располагаются по нерегулярной сети, для 3D-сейсморазведки важно выдерживать расстояния между профилями приема и возбуждения, поскольку пропуски приводят к существенной потере кратности наблюдений и снижению качества сейсмических данных. Таким образом, возникла необходимость в закрытии разрывов в расположении профилей, связанных с транзитными зонами. Успехи НиГБ также способствовали росту интереса к ТЗ, т.к. позволяли эффективно осуществлять добычу на месторождениях полностью или частично расположенных под дном водоемов.

Этапы развития сейсмических технологий изучения транзитных зон

Пермский край имеет большую речную систему: более 29 тыс. рек с общей длиной около 90 тыс. км при площади края более 160 тыс. км². Рекам присущ долгий ледостав. В крае расположены два крупных водохранилища, которые пересекают с севера на юг практически всю центральную часть Пермского края: Камское (1910 км²) с максимальной глубиной 30 м и Воткинское (1100 км²) с максимальной глубиной 28 м и средней глубиной около 8 м. 16 % площади края занимают болота и заболоченные леса (Хакимова, Шумилов, 2025).

Как указано выше, толчком к изучению транзитных зон стало начало использования сейсморазведки 3D. В Пермском крае и Удмуртии это произошло в 1994 г.

Сначала, естественно, начались работы на месторождениях на суше, но уже тогда возникали проблемы (Череповский и др., 2022), связанные с использованием тяжелых автомобилей и тракторов: многочисленны реки, ручьи, овраги, заболоченность, значительная залесенность. На болотах из-за недостаточного промерзания тяжелая техника не может передвигаться даже после укатки снежного покрова в морозную зиму.

Для сейсморазведки 3D даже при стандартной плотности наблюдений исследование площади, залесенной на 60 %, с использованием традиционных источников возбуждения (вибраторы/взрывы в скважинах, пробуренных крупногабаритными буровыми станками) для профилей возбуждения требуется вырубка свыше 80 га леса/100 км², что приводит к большими финансовым затратам.

Уже в 2006 г. был подан первый патент на транспортабельный комплекс оборудования для проведения сейсморазведки 3D в труднодоступных районах, включающий: транспортное средство (малогабаритная низкорамная техника на колесном или гусеничном ходу – мотоблоки «Нева» или снегоходы «Буран»), буровая установка (УБ ШМ-1-13М на базе малогабаритного шасси шириной до 1 м для бурения одиночных или групповых скважин диаметра до 60 мм и глубиной 3–12 м), источник сейсмических колебаний (заряды сверхмалого веса до 0,1 кг). Патент в целом ориентирован на экологосберегающие задачи.

Изучение в транзитных зонах как таковое первоначально (2008) началось на Камском водохранилище (Зырянское поднятие, Кондасский лицензионный участок) – сейсморазведка 2D, где велись донная сейсморазведка и сейсморазведка в транзитной зоне по описанной в патенте технологии. На основании работ был создан новый патент (2009) специально для транзитных зон – заряды до 0,1 кг размещаются в скважинах глубиной на 3–10 м ниже дна водоема и доставляются через полые шнеки. В 2012 г. на месте проведения работ было открыто месторождение им. Сухарева, а в 2013 г. на

месторождении проведена уже сейсморазведка 3D по технологии, изложенной в новом патенте.

После такого успеха в Пермском крае сейсморазведка 3D стала широко применяться на месторождениях (2015, 2020, 2021, 2023). По состоянию на 2025 г. (Хакимова, Шумилов, 2025), из отработанных сейсморазведкой 3D 16196 км² в Пермском крае на площади в той или иной степени (3–60 %) включающие транзитные зоны приходилось 1716,5 км².

Несмотря на успехи в использовании взрывных источников, было выполнено тестирование (Захаров, Путилов, 2020) импульсного источника сейсмических колебаний «Геотон», базируясь на опыте применения в ОАО «НГК “Славнефть”». В результате выяснено, что у временных разрезов, полученных с взрывным источником, большая детальность и разрешенность, чем с импульсным, т.е., несмотря на свою значительную технологичность, применение импульсных источников до сих пор нецелесообразно.

Обобщение опыта предыдущих работ позволило разработать еще один патент (Лаптев, Хакимова, 2024), уточняющий и расширяющий патент 2009 г. Во-первых, если в предыдущем патенте предлагалось использовать сверхмалые (до 0,1 кг) заряды, то также было предложено применять заряды массой не менее 0,17 кг. В некоторых случаях применяются заряды массой 0,3 кг (Хакимова, Шумилов, 2025). Во-вторых, патент ориентирован на возбуждения колебаний взрывным источником для проведения сейсмической разведки на покрытом льдом водоеме. В-третьих, увеличение глубин водоемов, для которых возможна сейсморазведка: не только транзитные зоны, но и глубоководные участки.

Таким образом, можно отметить эволюцию экологосберегающих подходов к сейсморазведке 3D за более чем 30 лет ее применения в Пермском крае: от чисто наземного варианта, первоначально нацеленного на исключение рубки просек шириной 4–6 м и корчевки пней для тяжелой техники, до практически универсального подхода, который выполняется и на суше, и в транзитных зонах, и даже на глубоководье со льда.

Главные особенности сейсмических технологий изучения транзитных зон

Разработанные новые сейсмические технологии используются для сейсморазведки 3D. Применение для сейсморазведки 2D было только в самом начале, когда исследовалась работоспособность предложенных новых подходов к сейсморазведке.

Представленное описание эволюции сейсмических технологий позволяет выделить главные особенности изучения транзитных зон (Хакимова, Геник и др., 2025).

Во-первых, исключение рубки просек шириной 4–6 м, сейсмические работы проводятся по визирам шириной 1 м с минимальным ущербом для природы.

Во-вторых, опытные исследования для различных условий возбуждения в транзитной зоне и на суше (возвышенность, склон, низина) перед выполнением основного объема сейсморазведочных работ с целью выбора: глубины заложения и величины заряда, числа взрывных скважин.

В-третьих, использование взрывных источников малой массы в диапазоне от менее 0,085 кг до 0,4/0,6/0,9 кг в зависимости от условий возбуждения.

В-четвертых, зимние работы на льду с использованием технологий донного бурения, когда заряды размещаются в скважинах глубиной не менее 4,5–6 м (Лаптев, Хакимова, 2024) ниже дна водоема.

В-пятых, использование малогабаритного бурового оборудования (масса буровой установки УБШМ-1-13 вместе с санями ~ 300 кг) и транспорта (снегоходы массой ~ 300 кг). Для работы техники необходима толщина льда не менее 20–30 см.

В-шестых, применение шнековой колонны (Лаптев, Хакимова, 2024) длиной 20 м. Через открывающуюся крышку клапана долота помещают в донную скважину заряд взрывчатого вещества, поднимают шнековую колонну, производят взрыв заряда взрывчатого вещества.

Заключение

В работе детально проанализированы транзитные зоны и выделены причины интереса к ним, связанные с поиском новых пер-

спективных объектов и внедрением сейсморазведки 3D. Рассмотрены основные этапы развития сейсмических технологий изучения транзитных зон в Пермском крае. Выделены главные особенности сейсмических технологий изучения транзитных зон.

Библиографический список

Адиев Р.А., Белов С.В., Крючатов А.Д., Чистяков Н.Ю., Хакимова Ж.А., Шумилов А.В. Совершенствование технологии обработки данных новых приборов мультиспольного акустического каротажа // Нефтяное хозяйство. 2022. № 8. С. 100–105. DOI: 10.24887/0028-2448-2022-8-100-105 EDN: OQRXGF

Варушкин С.В., Хакимова Ж.А. Проектирование геологоразведочных работ методом строительства боковых стволов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2018. Т. 18, № 1. С. 16–27. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.3.2 EDN: YRJDLV

Данилова Е.А., Дрягин В.В., Хакимова Ж.А., Чудинов П.Ю. Геологические предпосылки применения сейсмоакустических методов повышения нефтеотдачи пластов в скважинах Соликамской впадины // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2023. № 6 (378). С. 34–42. DOI: 10.33285/2413-5011-2023-6(378)-34-42 EDN: FSXOHC

Захаров Ю.М., Путилов И.С. Получение качественных сейсмических данных на заболоченных территориях севера Пермского края // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2020. Т. 20, № 2. С. 115–125. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.2.2 EDN: DILTdz

Лантев А.П., Спешилов В.И., Захаров Ю.М., Кошкин К.А., Хакимова Ж.А. ПАО «Пермнефтегеофизика» интегрируют новую бескабельную сейсморегистрирующую систему в производство // Приборы и системы разведочной геофизики. 2024. № 3 (82). С. 75–82. EDN: YDHQQB

Лантев А.П., Хакимова Ж.А. Способ возбуждения колебаний взрывным источником для проведения сейсмической разведки на покрытом льдом водоеме. Патент на изобретение RU 2824335 С1, 07.08.2024. Заявка № 2023115700 от 15.06.2023. EDN: LITLBZ

Пятунина Е.В., Хакимова Ж.А., Неганов В.М. Особенности развития коллекторов визейской терригенной толщи и перспективы их обнаружения на юго-востоке Пермского Прикамья // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2007. № 10. С. 27–32. EDN: IBLHPH

Савич А.Д., Лантев А.П., Будник Д.А., Хакимова Ж.А., Комаров П.А. Совершенствование технологий опробования пластов в поисково-разведочных скважинах // Каротажник. 2025. № 3 (335). С. 97–114. EDN: ZOIGOA

Хакимова Ж.А., Геник И.В., Огородова И.В., Шумилов А.В. Выбор параметров взрывного источника при проведении сейсморазведки в междуречье малых рек Пермского Прикамья // Каротажник. 2025. № 3 (335). С. 75–83. EDN: FAYCHQ

Хакимова Ж.А., Шумилов А.В. Методики изучения транзитных зон и опыт пермских геофизиков // Вестник Пермского университета. Геология. 2025. Т. 24, № 1. С. 43–53. DOI: 10.17072/pstu.geol.24.1.43 EDN: XJFUWX

Фрик М.Г., Батова И.С., Быкова Н.В., Хакимова Ж.А. Нефтегазовый потенциал Березниковского палеоплато (Пермский край) по геохимическим данным // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2007. № 8. С. 45–58. EDN: IAOLMT

Череповский А.В., Лантев А.П., Пятунина Е.В., Мамедов О.Г. Экологосберегающая («зеленая») сейсморазведка на суше и в переходных зонах // Приборы и системы разведочной геофизики. 2022. № 2 (73). С. 14–24. EDN: SRDTLF

Шестакова Е.В., Захаров Ю.М., Хакимова Ж.А., Силаенков О.А. Опыт выполнения обработки сейсмических данных в отечественном ПО «Prime» на облачных вычислительных ресурсах // Геомодель 2023. М., 2023. С. 280–283. EDN: ZMUCXD

Methodology for Studying the Transit Zones (Using the Example of the Perm Krai)

Zh.A. Khakimova

Lukoil-Perm LLC, 62 Lenina Str., Perm 614068, Russia.

E-mail: lp@lp.lukoil.com

Based on experience obtained in the Perm Krai and other regions of the Kama River basin, the paper examines the specifics of seismic exploration in transition zones, which are the shallow waters inaccessible to study using

just river or land-based survey alone. Successful seismic exploration in these zones relies on the use of a number of new technologies, including the explosive source placed in boreholes below the silt zone of the river bottom, and a system of compact equipment, and drilling rigs that enables exploration in ice-covered waters.

Keywords: *geophysics; seismic exploration; transition zones; shallow waters*

References

- Adiev R.A., Belov S.V., Kryuchatov A.D., Chistyakov N.Yu., Khakimova Zh.A., Shumilov A.V.* 2022. Sovershenstvovaniye tekhnologiy obrabotki dannykh novykh priborov multipolnogo akusticheskogo karotazha [Improving the technology for processing data from new multipole acoustic logging tools]. *Neftyanoye khozyaystvo*. 8:100-105. (in Russian)
- Varushkin S.V., Khakimova Zh.A.* 2018. Proyektirovaniye geologo-razvedochnykh rabot metodom stroitelstva bokovykh stvolov [Design of geological exploration works by the method of construction of sidetracks]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftgazovoye i gornoye delo*. 18(1):16-27. (in Russian) doi: 10.15593/2224-9923/2018.3.2
- Danilova Ye.A., Dryagin V.V., Khakimova Zh.A., Chudinov P.Yu.* Geologicheskiye predposylki primeneniya seismoakusticheskikh metodov povysheniya nefteotdachi plastov v skvazhinakh Solikamskoy vpadiny [Geological prerequisites for the application of seismoacoustic methods for enhancing the oil recovery in wells of the Solikamsk depression]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. 6(378):34-42 (in Russian)
- Zakharov Yu.M., Putilov I.S.* 2020. Poluchenie kachestvennykh seismicheskikh dannykh na zabolochennykh territoriyakh severa Permskogo kraya [Obtaining high-quality seismic data on the wetlands of the north of Perm Krai]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftgazovoye i gornoye delo*. 20(2):115-125 (in Russian) doi: 10.15593/2224-9923/2020.2.2
- Laptev A.P., Speshilov V.I., Zakharov Yu.M., Koshkin K.A., Khakimova Zh.A.* 2024. PAO "Permneftegeofizika" integriruyut novuyu beskabelnuyu seysmoregistriruyushchuyu sistemu v proizvodstvo [PJSC Permneftegeofizika is implementing a new cableless seismic recording system into production]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki*. 3(82):75-82 (in Russian)
- Pyatunina Ye.V., Khakimova Zh.A., Neganov V.M.* 2007. Osobennosti razvitiya kollektorov vizeyskoy terrigennoy tolshchi i perspektivy ikh obnaruzheniya na yugo-vostoke Permskogo Prikamya [Features of the development of the Viséan terrigenous reservoirs and prospects for their discovery in the southeast of the Perm CisKama region]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. 10:27-32 (in Russian)
- Savich A.D., Laptev A.P., Budnik D.A., Khakimova Zh.A., Komarov P.A.* 2025. Sovershenstvovaniye tekhnologiy oprobovaniya plastov v poiskovo-razvedochnykh skvazhinakh [Improving technologies for testing formations in prospecting and exploration wells]. *Karotazhnik*. 3(335):97-114 (in Russian)
- Khakimova Zh.A., Genik I.V., Ogorodova I.V., Shumilov A.V.* 2025. Vybory parametrov vzryvnogo istochnika pri provedenii seysmorazvedki v mezhdurechye malyykh rek Permskogo Prikamya [Selection of parameters of an explosive source during seismic exploration in the interfluvium of small rivers of the Perm CisKama region]. *Karotazhnik*. 3(335):75-83 (in Russian)
- Khakimova Zh.A., Shumilov A.V.* 2025. Metodiki izucheniya tranzitnykh zon i opyt permskikh geofizikov [Methods for studying transition zones and the experience of the Perm's geophysicists]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 24(1):43-53. doi: 10.17072/pstu.geol.24.1.43 (in Russian)
- Frik M.G., Batova I.S., Bykova N.V., Khakimova Zh.A.* 2007. Neftgazovyy potentsial Bereznikovskogo paleoplato (Permskiy kray) po geokhimicheskim dannym [Oil and gas potential of the Bereznikovskoye paleoplateau (Perm Krai) based on geochemical data]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. 8:45-58 (in Russian)
- Cherepovskiy A.V., Laptev A.P., Pyatunina Ye.V., Mamedov O.G.* Ekologosberigayushchaya ("zelenaya") seysmorazvedka na sushe i v perekhodnykh zonakh [Environmentally friendly ("green") seismic exploration on land and in transition zones]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki*. 2(73):14-24 (in Russian)
- Shestakova Ye.V., Zakharov Yu.M., Khakimova Zh.A., Silayenkov O.A.* 2023. Opyt vypolneniya obrabotki seismicheskikh dannykh v otechestvennom PO "Prime" na oblachnykh vychislitelnykh resursakh [Experience of processing seismic data in the domestic software Prime using the cloud computing resources]. *In: Geomodel 2023. Sbornik materialov 25-y yubileynoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po voprosam geologorazvedki i razrabotki mestorozhdeniy nefi i gaza*. Moskva, pp. 280-283 (in Russian)