Добыча полезных ископаемых

DOI: 10.35634/UdSU.2026.71.62.014

УДК 622.276

В.Ю. Панфилов, И.А. Ярощук, П.С. Пушмин

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К СТРОИТЕЛЬСТВУ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ НАРУШЕННОСТИ РАЗРЕЗА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Аннотация. Развитие буровых технологий в регионах со сложным тектоническим строением сопровождается воздействием факторов, обусловленных разрывной тектоникой и высокой трещиноватостью пород. К числу наиболее опасных проявлений относятся интенсивные поглощения промывочных жидкостей, карстовые пустоты, зоны повышенной проницаемости и аномальные фильтрационные каналы, формирующие условия для возникновения аварийных ситуаций и снижения технико-экономических показателей строительства скважин. Указанные процессы приводят к росту технологических рисков, увеличению продолжительности буровых работ и удорожанию освоения месторождений.

В работе выполнен анализ современных технологических решений, применяемых при сооружении нефтяных и газовых скважин в разломно-блоковой структуре осадочного чехла Восточной Сибири. Показано, что эксплуатационное бурение в зонах тектонических нарушений характеризуется развитием нестабильности стенок ствола, водопроявлений, газодинамических эффектов и отклонений траектории скважины вследствие неоднородности напряжённо-деформированного состояния пород.

Особое внимание уделено обоснованию применения специализированных технологий, направленных на повышение устойчивости ствола, ограничение фильтрационных потерь и обеспечение управляемости траектории в условиях разломных структур. Выполнена оценка их технологической целесообразности и практической эффективности при освоении месторождений Восточной Сибири.

Ключевые слова: нефтегазовые скважины, тектоническая нарушенность, зоны разломов, осложнения бурения, устойчивость ствола, аэрированные системы, пневмоударные технологии, повышение безопасности.

Для цитирования: Панфилов В.Ю., Ярощук И.А., Пушмин П.С. Инновационные подходы к строительству нефтегазовых скважин в условиях тектонической нарушенности разреза Восточной Сибири // Управление техносферой: электрон. журнал, 2026. Т.9. Вып.2. С. 500–513. DOI: 10.35634/UdSU.2026.71.62.014

Введение

Освоение газовых ресурсов Восточной Сибири, обладающей значительным потенциалом углеводородного сырья, осуществляется в условиях сложного геологического строения и активной тектонической нарушенности. Определяющее влияние на процессы строительства скважин оказывают разломно-блоковые структуры, отличающиеся повышенной сейсмичностью, развитой системой тектонических нарушений и неоднородным строением продуктивных толщ. Наличие таких факторов формирует неблагоприятную геологическую обстановку, сопровождающуюся возникновением осложнений при бурении и требующую применения специализированных технических и технологических решений.

Сооружение нефтяных и газовых скважин представляет собой многоэтапный инженерно-технологический комплекс, включающий проектирование, подготовку площадок, бурение, крепление ствола, оснащение устьевого и забойного оборудования, а также последующее освоение и эксплуатацию. Совершенствование буровых технологий и технических средств в последние годы позволило повысить надежность процессов вскрытия пластов, улучшить технико-экономические показатели работ и снизить уровень аварийности. Вместе с тем расширение объемов бурения и вовлечение в разработку новых, более сложных по строению объектов обуславливают необходимость постоянного развития и адаптации применяемых методов к специфике геологических условий.

Нефтегазовая отрасль играет стратегическую роль в формировании топливно-энергетического баланса и обеспечении устойчивого социально-экономического развития страны [1, С. 14-18]. В этой связи повышение эффективности и надежности строительства скважин в тектонически осложнённых районах Восточной Сибири приобретает особое значение с точки зрения укрепления энергетической безопасности и рационального

использования минерально-сырьевой базы.

Особенности геологического строения и риски бурения в Восточной Сибири

Восточно-Сибирская нефтегазоносная провинция характеризуется значительным ресурсным потенциалом, приуроченным к геологически сложным и тектонически нарушенным структурам [6, С. 41-47]. Развитая система разломов и блоковых смещений формирует неблагоприятные условия для сооружения скважин, обусловливая возникновение обвалов, кавернообразования, потерь циркуляции буровых растворов, прихватов бурильного инструмента и других осложнений, приводящих к увеличению продолжительности строительства, росту капитальных затрат и снижению уровня промышленной безопасности [2, С. 96-103], [10, С. 44-49].

Геологическая структура участков бурения характеризуется выраженной неоднородностью, обусловленной развитием складчато-надвиговых процессов и влиянием соляной тектоники в пределах карбонатных толщ осадочного разреза. В материалах сейсморазведки зоны нарушенного залегания проявляются в виде разрывов либо ослабления отражающих границ в интервале от литвинцевской свиты до кровли осинского горизонта. Такие участки существенно искажают волновую картину от продуктивных пластов, что осложняет прогнозирование коллекторских свойств и повышает вероятность вскрытия малопродуктивных интервалов. Дополнительную неопределённость вносят недостаточная изученность территории и низкая плотность разведочного бурения, особенно в пределах южных и восточных флангов залежей.

Разломно-тектонические зоны играют определяющую роль в формировании геологического облика региона и оказывают прямое влияние на условия строительства скважин [1, С. 83-89], [6]. Их воздействие проявляется в виде повышенной геодинамической активности, блочного строения породного

массива, интенсивной трещиноватости и наличия гидродинамических каналов, обеспечивающих миграцию флюидов. Кроме того, разломы могут выполнять функции тектонических экранов, экранируя залежи углеводородов и осложняя процессы поисков и разведки. Активизация разрывных нарушений под воздействием природных и техногенных факторов дополнительно увеличивает вероятность развития аварийных ситуаций.

Таким образом, бурение в тектонически нарушенных зонах Восточной Сибири сопровождается комплексом геологических и геомеханических проблем, что обуславливает необходимость использования комплексных подходов, включающих уточнённое геологическое моделирование, внедрение адаптированных буровых технологий, а также применение средств оперативного контроля и предупреждения осложнений [3 С. 21-24], [8, С. 137-142].

На основании обобщения материалов геофизических исследований, данных испытаний разведочных скважин и результатов интерпретации промысловой информации выполнена комплексная оценка геологических рисков при строительстве кустовых площадок. Из 18 проанализированных кустов в 11 выявлены потенциально опасные зоны, в том числе в 7 случаях прогнозируются осложнения в верхней части разреза, а в 6 — вероятность вскрытия пластов с пониженными фильтрационно-емкостными характеристиками и низкой продуктивностью. В целях снижения негативного влияния геологических факторов и сокращения сроков строительства обоснован комплекс технологических мероприятий, направленных на повышение устойчивости ствола скважины и оптимизацию процессов бурения.

Опытно-промышленная оценка технологических решений

В ходе опытно-промышленных работ на месторождении Х для скважин, отнесённых к категории повышенного геологического риска, был реализован комплекс специализированных технологических мероприятий, направленных на

снижение вероятности осложнений и повышение устойчивости процессов бурения.

Первое решение основано на использовании пневматического бурового оборудования, работающего в ударно-вращательном режиме и оснащённого корончатым разрушающим инструментом (см. рисунок 1).

Данная технология предполагает разрушение пород за счёт импульсного воздействия, формируемого пневмоударным механизмом. В сравнении с традиционными роторными методами, где разрушение породы обеспечивается главным образом вращательным воздействием, ударно-импульсный принцип позволяет повысить эффективность проходки прочных и абразивных интервалов разреза [5, С. 46-49].



Рис. 1. Пневмоударный инструмент

В качестве рабочего агента в системе применялся азот, подаваемый азотно-бустерным комплексом в бурильную колонну и далее в камеру пневмоударника. Создаваемый перепад давлений формирует циклическое движение рабочего поршня, в результате чего энергия сжатого газа преобразуется в серию импульсных нагрузок, передаваемых на забой.

Частицы разрушенной горной массы удаляются из ствола скважины восходящим газовым потоком и далее направляются в систему улавливания и очистки, включающую шламосборное оборудование (см. рис. 2).

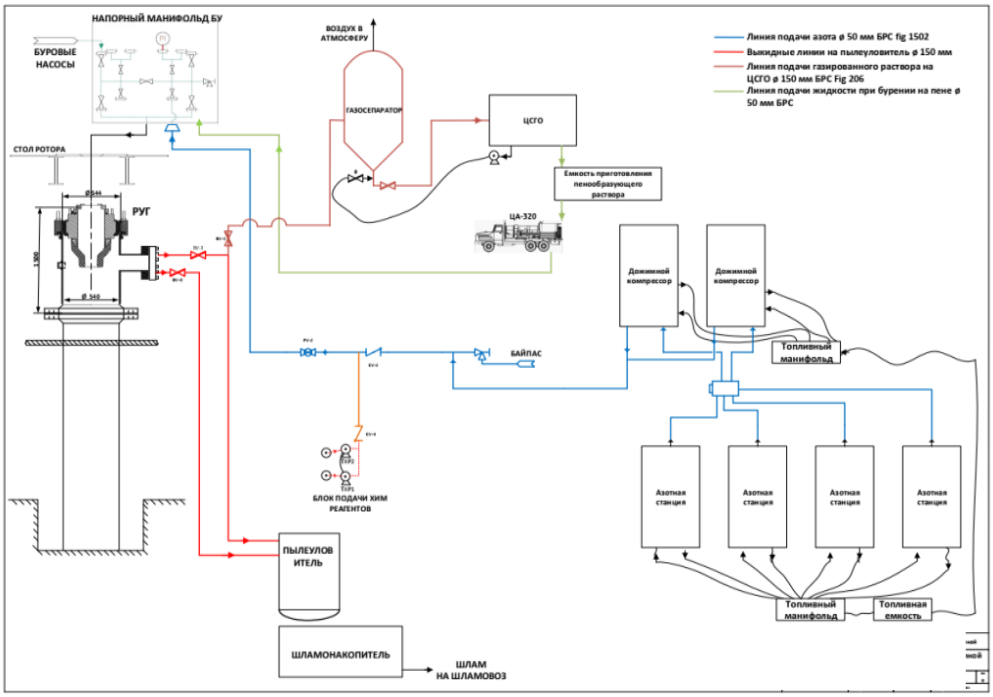


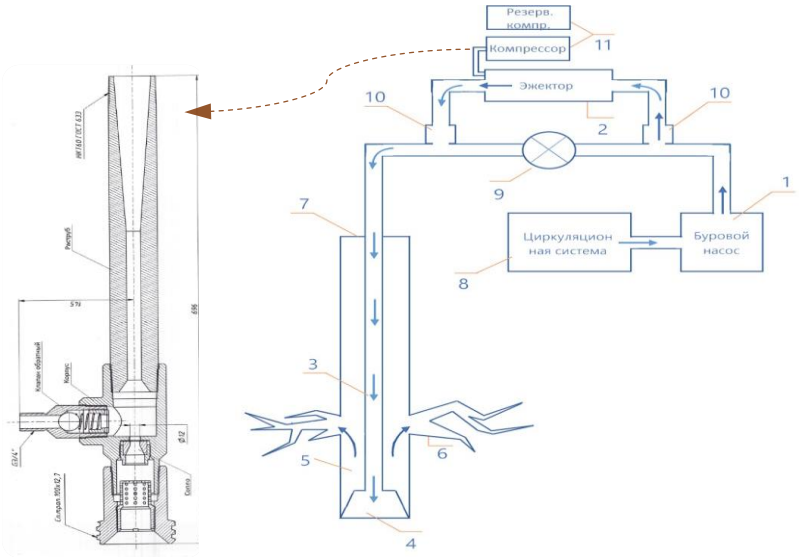
Рис. 2. Технологическая обвязка пневмоударного бурения

Комплекс пневмоударного бурения включает следующие основные узлы: источник сжатого воздуха высокого давления (компрессор), азотогенераторную установку, ударный механизм буровой головки, бурильную колонну, передающую энергию на забой, а также породоразрушающий инструмент (долота, коронки).

Вторым направлением являлось применение технологии бурения с использованием аэрированного бурового раствора (пенной системы), ориентированной на снижение фильтрационных потерь и сокращение сроков проходки интервала [4, С. 58-64], [9, С. 10-13]. Данный метод получил широкое распространение при работах в условиях пониженных пластовых давлений, снижение плотности циркулирующей среды способствует ограничению фильтрационных потерь и повышает устойчивость стенок скважины в условиях пониженных пластовых давлений [7, С. 65-69].

Пенные промывочные системы характеризуются комплексом эксплуатационных свойств, обеспечивающих более стабильное управление

процессом бурения при сооружении наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Дополнительным преимуществом является повышение эффективности выноса выбуренной породы из интервалов обрушений и осыпей, а также улучшение теплообмена в зоне работы породоразрушающего инструмента при проходке термически напряжённых интервалов. Основной задачей внедрения аэрированного раствора на этапе проходки кондуктора являлось ограничение потерь циркуляции в зонах поглощения и, как следствие, сокращение продолжительности строительства данного интервала (см. рисунок 3).



Источник: Составлен автором на основании опытно-промышленных работ

Рис. 3. Компоновка и взаимосвязь технологического оборудования при бурении с использованием аэрированной промывочной системы

Таблица 1

Сравнительная характеристика применяемых технологий бурения

Пневмоударное бурение	
Преимущества	**Ограничения и недостатки**
–минимизация поглощений промывочной среды, что снижает затраты на их ликвидацию; – замкнутый цикл циркуляции, обеспечивающий эффективную очистку ствола и отсутствие жидких отходов; – сниженная потребность в постоянном водоснабжении буровой; – возможность контроля и уточнения траектории скважины при применении ВЗД и телеметрических систем.	– повышенная трудоёмкость и продолжительность монтажа оборудования; – необходимость демонтажа и повторной установки подшипнико-уплотнительных узлов и циркуляционной воронки при спуско-подъёмных операциях; – интенсивный износ коронок и элементов пневмоударного механизма, приводящий к снижению ресурса оборудования.
Бурение с применением аэрированного бурового раствора (пена)	
Преимущества	**Ограничения и недостатки**
– снижение или полное исключение потерь промывочной жидкости; – организация замкнутой циркуляции и эффективный вынос шлама; – уменьшение потребности в технической воде; – компактность технологической обвязки и сокращение объёмов оборудования; – высокая скорость монтажа и ввода в работу.	– необходимость разрушения пены при выходе её на поверхность с применением технической воды либо устьевых герметизаторов, что может быть затруднено в условиях отрицательных температур и требует дополнительных технических решений.

Результаты проведения опытно-промышленных испытаний

В рамках опытно-промышленных работ выполнена сопоставительная оценка технологических подходов к бурению с учётом реальных геолого-технических условий и показателей экономической эффективности строительства. В ходе исследований выполнено бурение трёх скважин с применением двух технологических подходов: аэрированной промывочной системы и пневмоударного способа разрушения пород.

Для технологии бурения на аэрированном растворе получены следующие усреднённые показатели: глубина проходки интервала составила 873,5 м, продолжительность строительства – 14,3 суток, механическая скорость – 6,8 м/ч, расход технической воды – 4,6 м³/м, объём образующихся отходов – 0,1 м³/м, удельные затраты – 60 185,1 руб./м, коммерческая скорость – 60,7 м/сут.

При использовании пневмоударного оборудования средняя длина

интервала достигала 1185,5 м при сроках строительства 35,5 суток. Механическая скорость бурения составила 4,3 м/ч, расход воды – 3,51 м³/м, объём отходов – 0,49 м³/м, удельные затраты – 136 477,70 руб./м, коммерческая скорость – 33,36 м/сут.

Следует учитывать, что работы выполнялись в неодинаковых горно-геологических условиях, что ограничивает корректность прямого сопоставления экономических параметров. Тем не менее установлено, что применение аэрированной промывочной системы обеспечило более высокие темпы строительства и меньшие капитальные затраты по сравнению с пневмоударным способом. В то же время пневмоударная технология характеризуется пониженным водопотреблением, однако сопровождается увеличением объёма шламовых отходов.

Заключение

Проведённый анализ показал, что использование аэрированного бурового раствора и пневмоударного оборудования позволяет эффективно решать задачи бурения в условиях тектонической нарушенности и интенсивных поглощений. Полученные результаты свидетельствуют о снижении материальных и временных затрат, а также о росте производительности буровых работ. К основным эффектам внедрения адаптированных технологий относятся: сокращение расхода технической воды, уменьшение износа бурового инструмента, снижение продолжительности строительства скважин и повышение общей надёжности технологического процесса. Дополнительная оптимизация компоновки оборудования на заключительном этапе опытно-промышленных работ, связанная с исключением ряда вспомогательных узлов (пневмоударник, газосепаратор, пылеулавливающие и шламосборные устройства), позволила сократить издержки ещё примерно на 10 %.

Сопоставление технико-экономических показателей показало, что

аэрированная промывочная система обладает более выраженными преимуществами по сравнению с пневмоударным способом, обеспечивая сокращение простоев, повышение коммерческой скорости бурения и снижение себестоимости строительства [3, С. 23–25], [12, С. 118–121], [13, С. 95–99]. В совокупности это позволяет рассматривать данную технологию как перспективное направление для широкого внедрения при сооружении скважин в геологически осложнённых районах Восточной Сибири, обеспечивающее рациональное сочетание экономической эффективности, экологической приемлемости и технологической надёжности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буров, А. Н., Крылов, А. А. Тектонические разломы и их влияние на условия бурения скважин. М.: Недра, 2016. 256 с.
2. Власов, В. И., Кузнецов, С. П. Геологические осложнения при строительстве нефтяных и газовых скважин. – СПб.: Наука, 2018. 312 с.
3. Ганиев, Р. Ф., Ибрагимов, М. Х. Современные технологии бурения в сложных горно-геологических условиях. // Бурение и нефть. 2020. №5. С. 18–25.
4. Егоров, П. А., Федоров, Н. И. Аэрированные и пенные буровые растворы: теория и практика применения. Тюмень: ТИУ, 2019. 198 с.
5. Зайцев, В. В., Мельников, А. С. Пневмоударное бурение в трещиноватых и кавер-нозных породах. // Нефтегазовое дело. 2017. №3. С. 44–52.
6. Иванов, К. Л., Соловьев, Д. В. Геодинамика и разломно-блоковое строение Восточной Сибири. Новосибирск: СО РАН, 2015. 284 с.
7. Кузьмин, Ю. О. Геомеханика разломных зон и устойчивость ствола скважины. // Геология нефти и газа. 2021. №4. С. 63–71.
8. Мартынов, В. Г., Плотников, А. Е. Инженерные методы предупреждения осложнений при бурении. Уфа: УГНТУ, 2018. 240 с.
9. Пантелеев, С. В., Сафронов, А. И. Технологии бурения в зонах аномальных по-глощений. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2019. №7. С. 9–15.

10. Сидоров, И. И., Беляев, А. И. Геологические осложнения и методы их преодоления при бурении в сложных зонах. // Журнал геологии и разработки месторождений. 2018. Т. 36, №4. С. 42–58.
11. Смирнов, П. А., Карпов, В. А. Проблемы бурения в разломных зонах и новые ме-тоды их решения. // Вестник геологических наук. 2017. №6. С. 34–47.
12. Шмидт, О. В., Трофимова, Е. П. Технологии бурения в тектонически активных районах. // Научный вестник нефтегазовой отрасли. 2020. №5. С. 115–123.
13. Чистяков, С. В., Куликов, М. А. Инновационные методы строительства скважин в Восточной Сибири. // Геология и разведка углеводородов. 2019. №2. С. 89–102.

Поступила в редакцию: 27.01.26

Сведения об авторах

Панфилов Владимир Юрьевич
Аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, Россия.
E-mail: panfilov_vu@mail.ru

Ярощук Илья Александрович
Аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, Россия.
E-mail: ilya.yaroshuk@yandex.ru
SPIN-код: 5499-3200

Пушмин Павел Сергевич
Кандидат технических наук, доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, Россия.
E-mail: pps@ex.istu.edu
SPIN-код: 4801-1986

V.Y. Panfilov, I.A. Yaroshchuk, P.S. Pushmin

INNOVATIVE APPROACHES TO THE CONSTRUCTION OF OIL AND GAS WELLS IN THE CONDITIONS OF TECTONIC DISTURBANCE OF THE EAST SIBERIAN SECTION

Annotation. The development of drilling technologies in regions with complex tectonic structures is accompanied by the impact of factors caused by discontinuous tectonics and high fracturing of rocks. The most dangerous manifestations include intensive absorption of flushing fluids, karst voids, high permeability zones and abnormal filtration channels, which create conditions for emergencies and reduce the technical and economic performance of well construction. These processes lead to an increase in technological risks, an increase in the duration of drilling operations and an increase in the cost of field development. The paper analyzes modern technological solutions used in the construction of oil and gas wells in the fault-block structure of the sedimentary cover of Eastern Siberia. It is shown that production drilling in zones of tectonic disturbances is characterized by the development of instability of the trunk walls, water occurrences, gas dynamic effects and deviations of the well trajectory due to the heterogeneity of the stress-strain state of rocks. Special attention is paid to substantiating the use of specialized technologies aimed at increasing the stability of the trunk, limiting filtration losses and ensuring controllability of the trajectory in conditions of fault structures. An assessment of their technological feasibility and practical effectiveness in the development of deposits in Eastern Siberia has been carried out.
Keywords: oil and gas wells, tectonic disturbance, fault zones, drilling complications, trunk stability, aerated systems, pneumatic impact technologies, safety improvement.

For citation: Panfilov V.Yu., Yaroshchuk I.A., Pushmin P.S. [Innovative approaches to the Construction of Oil and Gas Wells in Conditions of Tectonic disturbance of the East Siberian Section] *Upravlenie tekhnosferoi,* 2026, vol. 9, issue 2, pp. 500–513. DOI: 10.35634/UdSU.2026.71.62.014. (In Russ.).

REFERENCES

1. Burov, A. N., Krylov, A. A. *Tektonicheskie razlomy i ikh vliyanie na usloviya bureniya skvazhin*. [Tectonic faults and their influence on drilling conditions]. Moscow: Nedra, 2016, 256 p. (In Russ.).
2. Vlasov, V. I., Kuznetsov, S. P. *Geologicheskie oslozhneniya pri stroitel'stve neftyanykh i gazovykh skvazhin.* [Geological complications in the construction of oil and gas wells]. Saint-Petersburg: Publ., Nauka, 2018, 312 p. (In Russ.).
3. Ganiev, R. F., Ibragimov, M. Kh. Sovremennye tekhnologii bureniya v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh. [Modern drilling technologies in difficult mining and geological conditions]. *Burenie i neft'* [*Drilling and oil*]. 2020, no. 5, pp. 18–25. (In Russ.).

4. Egorov, P. A., Fedorov, N. I. *Aehrirovannye i pennye burovye rastvory: teoriya i praktika primeneniya* [Aerated and foam drilling fluids: theory and practice of application]. Tyumen': TIU, 2019, 198 p. (In Russ.).
5. Zaitsev, V. V., Mel'nikov, A. S. Pnevmoudarnoe burenie v treshchinovatykh i kaver-noznykh porodakh. [Pneumatic impact drilling in fractured and cavernous rocks]. *Neftegazovoe delo* [*Oil and gas business*]. 2017, no. 3, pp. 44–52. (In Russ.).
6. Ivanov, K. L., Solov'ev, D. V. *Geodinamika i razlomno-blokovoe stroenie Vostochnoi Sibiri* [Geodynamics and fault-block structure of Eastern Siberia]. Novosibirsk: SO RAN, 2015, 284 p. (In Russ.).
7. Kuz'min, Yu. O. Geomekhanika razlomnykh zon i ustoichivost' stvola skvazhiny [Geomechanics of fault zones and borehole stability]. *Geologiya nefti i gaza* [*Geology of oil and gas*]. 2021, no. 4, pp. 63 – 71. (In Russ.).
8. Martynov, V. G., Plotnikov, A. E. *Inzhenernye metody preduprezhdeniya oslozhnenii pri burenii.* [Engineering methods for preventing complications during drilling]. Ufa: UGNTU, 2018, 240 p. (In Russ.).
9. Panteleev, S. V., Safronov, A. I. Tekhnologii bureniya v zonakh anomal'nykh po-gloshchenii [Drilling technologies in areas of anomalous deposits]. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more* [*Construction of oil and gas wells on land and at sea*]. 2019, no. 7, pp. 9 – 15. (In Russ.).
10. Sidorov, I. I., Belyaev, A. I. Geologicheskie oslozhneniya i metody ikh preodoleniya pri burenii v slozhnykh zonakh [Geological complications and methods of overcoming them during drilling in difficult zones]. *Zhurnal geologii i razrabotki mestorozhdenii* [*Journal of Geology and Field Development*]. 2018, vol. 36, no. 4, pp. 42–58. (In Russ.).
11. Smirnov, P. A., Karpov, V. A. Problemy bureniya v razlomnykh zonakh i novye me-tody ikh resheniya. [Problems of drilling in fault zones and new methods of their solution]. *Vestnik geologicheskikh nauk* [*Bulletin of Geological Sciences*]. 2017, no. 6, pp. 34–47. (In Russ.).
12. Shmidt, O. V., Trofimova, E. P. Tekhnologii bureniya v tektonicheski aktivnykh raionakh [Drilling technologies in tectonically active areas]. *Nauchnyi vestnik neftegazovoi otrasli.* [*Scientific Bulletin of the oil and gas industry*]. 2020, no. 5, pp. 115–123. (In Russ.).
13. Chistyakov, S. V., Kulikov, M. A. Innovatsionnye metody stroitel'stva skvazhin v Vostochnoi Sibiri. [Innovative methods of well construction in Eastern Siberia]. *Geologiya i razvedka uglevodorodov*] [*Geology and exploration of hydrocarbons*]. 2019, no. 2, pp. 89–102. (In Russ.).

Received: 27.01.26

About the Authors

Panfilov Vladimir Yurievich
Postgraduate student, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.
E-mail: panfilov_vu@mail.ru

Yaroshchuk Ilya Alexandrovich
Postgraduate student, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.
E-mail: ilya.yaroshuk@yandex.ru
SPIN code: 5499-3200

Pushmin Pavel Sergevich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.
E-mail: pps@ex.istu.edu
SPIN code: 4801-1986