

ГЕОЭКОЛОГИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «БУЗУЛУКСКИЙ БОР»

М.Ю. Нестеренко, А.А. Чибилёв

ОФИЦ УрО РАН, Отдел геоэкологии, Россия, Оренбург
e-mail: geoecol-onc@mail.ru

В статье рассмотрены геоэкологические проблемы недр, возникающие в связи с разработкой месторождений нефти и газа в национальном парке «Бузулукский бор». Обоснована необходимость выполнения наблюдений за геодинамическими процессами, сопровождающими разработку месторождений нефти и газа, расположенных в национальном парке «Бузулукский бор». Предложен способ построения геодинамического полигона на месторождениях углеводородов в Бузулукском бору на основе сейсмологической сети, не чувствительный к запрету ведения хозяйственной деятельности в условиях национального парка и густой растительности. Представлена информация об установленной в 2024 году на территории стационара «Бузулукский бор» Института степи УрО РАН в п. Партизанский сейсмической станции.

Ключевые слова: Бузулукский бор, национальный парк, геоэкология, техногенные геодинамические процессы, сейсмика, месторождения нефти и газа, геодинамический мониторинг.

Введение

На территории национального парка «Бузулукский бор», расположенного в пограничье Оренбургской и Самарской областей, разведано и эксплуатируется ряд месторождений углеводородного сырья, в том числе три крупных месторождения нефти и газа – Могутовское, Гремячевское и Воронцовское (рис. 1).

После произошедшей в 1971 году аварии, приведшей к разливу нефти и пожарам, эксплуатация месторождений была приостановлена, а с 2015 года работы по освоению месторождений и добыча углеводородов (УВ) на месторождениях в Бузулукском бору возобновлены.

Очевидно, что ведение хозяйственной деятельности и добыча УВ на территории национального парка имеют негативные экологические последствия [1-3]. Обосновано, что разработка и эксплуатация нефтегазовых месторождений должны быть во всех отношениях подчинены интересам экологической безопасности уникальных экосистем лесного массива и направлены на его восстановление и устойчивое развитие как единой системы.

Учитывая современный природоохранный статус территории размещения нефтегазовых месторождений, а также значение Бузулукского бора как объекта природного, историко-культурного и научного значения мирового уровня, лесной массив должен стать образцовым полигоном для гармонизации взаимоотношений между обществом и природой, отработки природоподобных технологий, взаимодействия научного сообщества, природоохранных организаций и природопользователей [1-3]. Однако множество из исследованных негативных последствий эксплуатации месторождений может быть спровоцировано или вызвано нарушением геодинамического равновесия в земной коре территории Бузулукского бора.

Известно, что разработка месторождений углеводородов приводит к изменению геодинамического равновесия и может спровоцировать опасные геодинамические процессы в недрах и на земной поверхности, которые, в свою очередь, повышают риск аварий на объектах добычи и транспортировки УВ [4-8] и могут негативно влиять на состояние флоры и фауны

национального парка «Бузулукский бор». Поэтому, в соответствии с требованиями законодательства РФ (ФЗ от 21.02.1992 г. № 2395 «О недрах», Приказа Ростехнадзора от 19.05.2023 г. № 186 «Об утверждении правил осуществления маркшейдерской деятельности», РД 07-603-03 от 29.06.2003 г. «Инструкция по производству маркшейдерских работ» и др.), необходимо проводить наблюдения за геодинамическими процессами, сопровождающими разработку месторождений углеводородного сырья.

Значительное влияние на производственные мощности нефтегазовой отрасли обусловлено наличием большого количества геодинамических факторов. Однако наибольшую опасность представляет аномальная геодинамика верхней части земной коры, которая в большей мере проявляется в областях тектонических деформаций [6].

Таким образом, целью проводимого исследования является обоснование необходимости и способа организации наблюдения за геодинамическими процессами на территории национального парка «Бузулукский бор». Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- выявление факторов, оказывающих наибольшее влияние на объекты нефтегазового комплекса, расположенные на территории национального парка;
- выбор и обоснование способа проведения геодинамического мониторинга;
- разработка схемы геодинамического полигона и методики геодинамического мониторинга.

Основное негативное влияние разработки месторождений УВ на геодинамику недр проявляется в оседаниях земной поверхности на обширных территориях, техногенной и природно-техногенной сейсмической активности, изменении сейсмического режима [9] и активизации разломных зон, контролирующих месторождения.

Таким образом, отклонение от нормы геодинамической активности, обусловленное непривычными для региона сейсмическими процессами, мотивирует скорое появление серьезных экологических и социально-экономических последствий (как правило, необратимых):

1. Повреждение наземных нефтегазодобывающих производств, которые проектировались без учета реального возрастания уровня сейсмического геодинамического воздействия на территории разрабатываемых месторождений УВ.

2. Значительное загрязнение земной поверхности и воздуха из-за разлива нефтепродуктов или выбросов газа.

3. Загрязнение источников воды и геологического разреза в результате частичного или полного разрушения скважин.

4. Увеличение проницаемости части геологического разреза, расположенного выше резервуара, с последующим усилением миграционных процессов и выходом газов в атмосферу.

На длительное время используемых территориях производственной деятельности нефтегазового комплекса нередко можно наблюдать интенсивные техногенные смещения, такие как просадка земной поверхности. Несмотря на тенденцию относительно не частого возникновения подобных явлений, последствия от них могут быть весьма опасными особенно для национального парка «Бузулукский бор».

Уменьшение пластового давления в продуктивных горизонтах или в водоносных пластах месторождений подземных вод может привести к изменению уровня грунтовых вод и, при отсутствии должного мониторинга и своевременного реагирования на возникающие изменения, повлечь фатальные изменения в гидрогеодинамике. Подобные деструктивные факторы приведут к негативным изменениям флоры или даже гибели Бузулукского бора.

Осуществление постоянного мониторинга является немаловажным фактором повышения рейтинга нефтедобывающего предприятия в глазах общественности по безопасной для флоры и фауны национального парка «Бузулукский бор» эксплуатации месторождений нефти и газа.

Материалы и методы

Месторождения в Бузулукском бору, в том числе крупные Могутовское, Гремячевское и Воронцовское, являются приразломными. Они приурочены к Самаркинским дислокациям, представляющим две параллельные тектонические зоны, ориентированные с юго-востока на северо-запад (рис. 1). Они образованы разломными зонами, по которым происходило перемещение блоков. При этом цепь ловушек-месторождений сформировалась в южных приподнятых блоках, а северные расположенные ниже блоки образуют северные замыкания этих ловушек.

В основе модели геологического строения Бузулукской впадины, в пределах которой расположены Самаркинские дислокации, лежит выявленная интенсивная расчлененность фундамента и покрывающих его терригенных и карбонатных толщ девона и карбона на множество протяженных структурно-блоковых ступеней и их систем, разделенных разломами. Ступени на всем протяжении осложняются более мелкими блоками. Исследования геологического строения и нефтегазоносности Южного Предуралья, в том числе территории национального парка «Бузулукский бор» [10], выявили неоднократные активизации разломных зон.

Залежи нефти и газа на территории Бузулукского бора приурочены к девонским, каменноугольным и пермским отложениям. Бузулукская впадина имеет множество тектонических разломов в фундаменте и относительную неоднородность (трещиноватость, разрыхление и т.п.) горных пород в зонах их влияния в осадочном чехле [11], по которым происходит движение флюидов в различных направлениях. В свою очередь разработка нефтегазовых месторождений ведет к изменению гидродинамического состояния и формированию новых направлений движения флюидов, причем, очевидно, основными путями их движения являются разломные зоны и зоны разуплотнений. Таким образом, сформированные в результате добычи УВ напряжения в земной коре формируют геодинамические процессы, которые будут проявляться в зонах тектонических нарушений и разуплотнений. Наличие разломных зон определяет требования к ведению геодинамического мониторинга.

Существует множество способов ведения геодинамического мониторинга [8], однако административные и физико-географические условия национального парка «Бузулукский бор» накладывают серьезные ограничения на их применение. Во-первых, в национальном парке запрещена любая хозяйственная деятельность, которая разрешается только в населенных пунктах и с рядом ограничений. Во-вторых, территория расположения месторождений имеет густую растительность и сильно залесена, что затрудняет и даже делает невозможным применение геодезических методов, лежащих в основе геодинамического мониторинга. Кроме того, большая площадь месторождений УВ затрудняет применение традиционных геодезических измерений движения земной поверхности по реперам профильных линий из-за накопления ошибки при увеличении числа ходов. Одновременно с этим повышается стоимость измерений и продолжительность их проведения.

Также невозможно использование в пределах национального парка Бузулукский бор в очень лесистой местности метода спутниковой дифференциальной интерферометрии SAR [12], так как декорреляция, связанная с густой растительностью и изменением покрова, будет неприемлемо высока. Высокая лесная растительность делает практически невозможным использование метода сети GNSS-наблюдений [13], а закладка реперов будет затруднена в связи с невозможностью ведения хозяйственной деятельности в национальном парке.

Но главным недостатком использования методов наблюдения за деформациями земной поверхности является то, что они позволяют лишь фиксировать результаты произошедших геодинамических процессов, проявившиеся на поверхности, и не представляют возможность выявлять формирование негативных геодинамических процессов в недрах на глубинах размещения продуктивных пластов эксплуатируемых месторождений. Сложившаяся практика геодинамических наблюдений на месторождениях УВ показывает, что с экономической точки зрения замеры проводят не чаще одного раза в год. Это приводит к низкой эффективности геодинамического мониторинга и практического отсутствия возможности прогнозирования опасных геодинамических явлений.

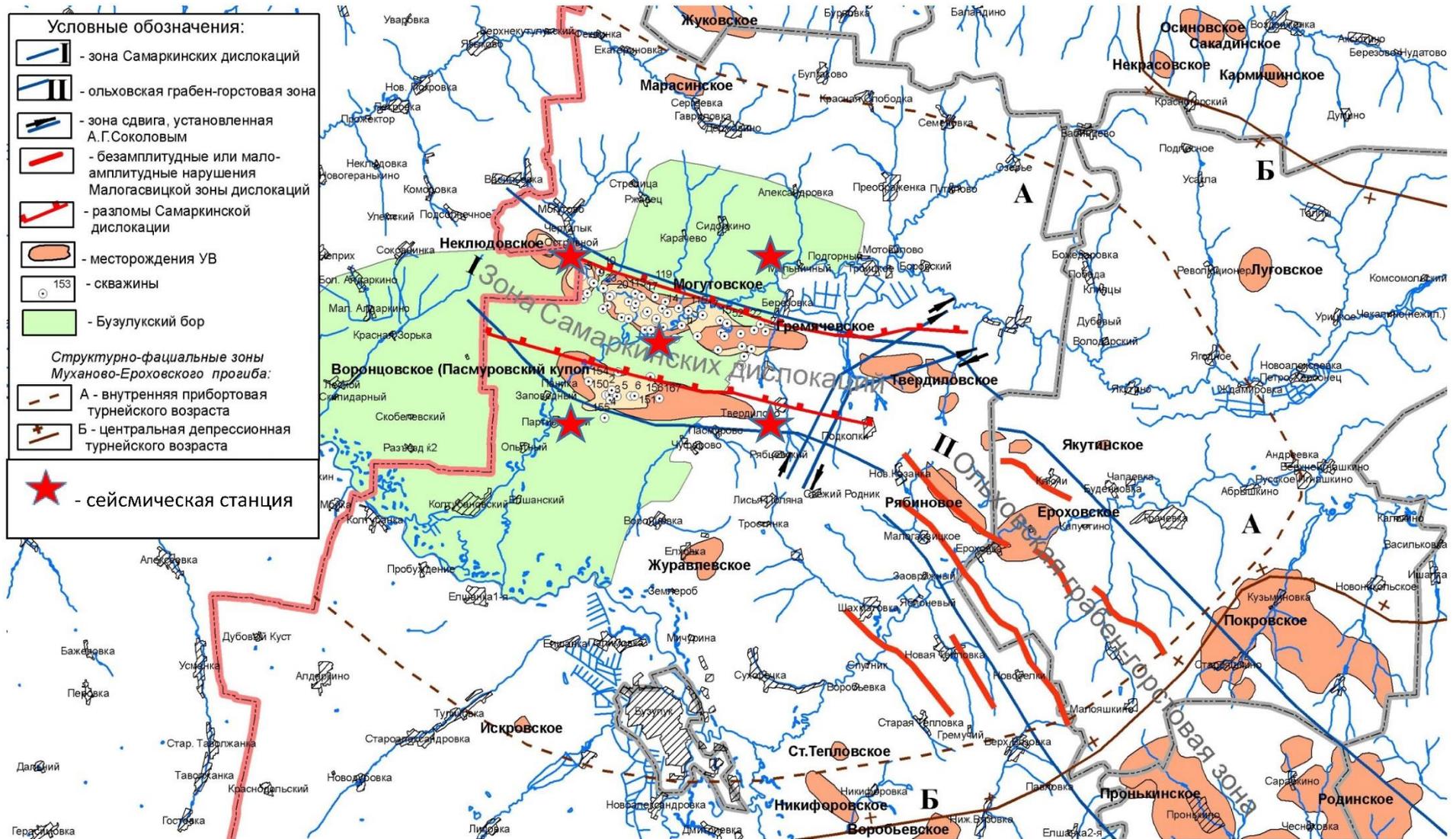


Рисунок 1 – Схема геодинамического полигона в районе Могутовского, Гремячевского и Воронцовского месторождений (с использованием данных [14, 15]).

В районах нефтегазовых месторождений на территории национального парка «Бузулукский бор» единственно возможным и более эффективным будет создание сейсмологической сети для мониторинга геодинамических процессов. Регистрация сейсмических явлений в объемах месторождений позволяет выявлять опасные геодинамические процессы на глубине продуктивных пластов и фиксировать их разгерметизацию как сейсмические события.

В условиях национального парка мониторинг геодинамических процессов целесообразно выполнять одной сейсмологической сетью на всей территории расположения разрабатываемых месторождений углеводородов. В целях повышения качества и достоверности информации сейсмологическая сеть должна состоять из 4-5 сейсмических станций, контролирующих геодинамические процессы всего района в радиусе до 50 км (рис. 1).

Очень важно то, что сейсмический мониторинг позволяет непрерывно регистрировать геодинамические процессы в недрах с оценкой их глубины и заблаговременно выявлять негативные изменения. Предлагаемый метод непрерывен, надежен и наиболее экономически выгоден. И только в случае аномально высокой сейсмической активности для контроля деформации земной поверхности за годовой период целесообразно применение метода сети GNSS-наблюдений на свободных от леса участках, что также подтверждает экономическую и экологическую целесообразность метода в условиях добычи нефти в национальном парке «Бузулукский бор».

Сейсмологическим мониторингом в режиме реального времени контролируются динамические процессы в земной коре, что позволяет вносить коррективы в режим разработки месторождений, уменьшающие риск техногенных землетрясений, сопровождаемых увеличением газо- и нефтепроницаемости в районах тектонических нарушений.

Результаты и обсуждение

Предложенный способ строительства геодинамического полигона на основе сети сейсмических станций внедрен и опробован на ряде месторождений УВ в Оренбургской области. Доказана [8] связь уровня техногенного воздействия при добыче УВ с уровнем сейсмической активности в районе разрабатываемых нефтегазовых месторождений, а также выявлено, что сейсмическая активность, зарегистрированная в районе месторождений, тяготеет к зонам тектонических и техногенных нарушений. Техногенные нарушения, при этом, в основном связаны с образованием гидродинамической воронки, обусловленной извлечением большого объема флюидов. Предложена методика мониторинга и моделирования геодинамических процессов в геологической среде и ее сейсмической активности в нефтегазоносных районах с учетом техногенных изменений в гидрогеосистемах земной коры. Модель развития гидрогеодинамических процессов учитывает геологические и тектонические особенности строения земной коры и основывается на природных и техногенно измененных направлениях движения и фильтрации в водоносных комплексах месторождений.

В 2024 году на территории стационара «Бузулукский бор» Института степи УрО РАН в п. Партизанский установлена сейсмическая станция, фиксирующая все сейсмические события и подвижки в верхней части литосферы Бузулукского бора. Установленная сейсмическая станция в п. Партизанском является первой станцией сейсмологической сети, спроектированной для геодинамического мониторинга верхней части земной коры Бузулукского бора и расположенных на его территории эксплуатируемых месторождений УВ.

Сейсмическая станция PRT, установленная в п. Партизанский, имеет низкий уровень зашумленности и достаточно хорошую чувствительность и позволяет регистрировать сейсмические явления природного и техногенного характера (рис. 2). Работа станции с марта 2024 года показала высокий уровень сейсмической активности земной коры района национального парка «Бузулукский бор». Однако определение географических координат и некоторых других параметров сейсмических явлений по одной станции затруднено, поэтому

необходимо создание сейсмологической сети в Бузулукском бору из не менее четырех стационарных широкополосных сейсмических станций.

Таким образом, были обоснованы необходимость и способ организации геодинамического мониторинга на основе сейсмологической сети, а также установлена первая сейсмическая станция.

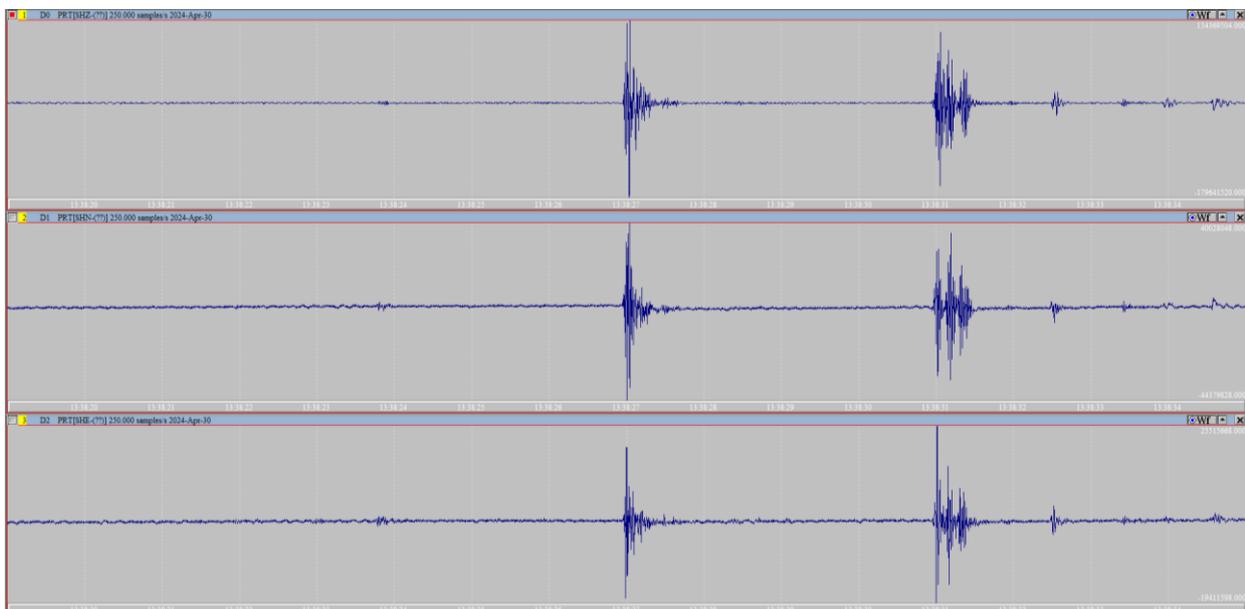


Рисунок 2 – Пример сейсмограмм техногенного события, зарегистрированного сейсмостанцией PRT в Бузулукском бору 30 апреля 2024 г.

Сейсмологическая сеть в районе Могутовского, Гремячевского и Воронцовского месторождений. Методика исследования сейсмологической активности с помощью геодинамического мониторинга в районе Могутовского, Гремячевского и Воронцовского месторождений должна состоять из двух последовательных стадий. Сначала осуществляется выбор оптимальных мест установки сейсмостанций, объединенных в единую сейсмологическую сеть – первичная организация геодинамического мониторинга. Далее проводится измерение и анализ полученных геоданных. В случае обнаружения сейсмически нестабильной, угрожающей жизни людей обстановки на конкретном участке месторождения применяются дополнительные методы исследования, проводится расширенный анализ причин, и, как следствие, формулируются меры профилактики или устранения подобной геодинамической активности в будущем.

Первостепенной задачей для осуществления мониторинга месторождений в Бузулукском бору является создание сейсмологической сети, состоящей из четырех-пяти сейсмических станций, оборудованных по периметру района расположения месторождений (вне территории национального парка) и одной – в его центре. Каждая сейсмическая станция должна включать три датчика скорости смещения, расположенных соответственно в пространстве для осуществления регистрации движений по трем направлениям: вертикальному (Z) и двум горизонтальным – север-юг (N) и восток-запад (E). Общая схема геодинамического полигона в районе Могутовского, Гремячевского и Воронцовского месторождений показана на рисунке 1. Конкретный участок размещения станций должен быть дополнительно исследован с помощью мобильных сейсмических станций с целью оценки уровня зашумленности.

Мониторинг сейсмологической сетью в течение 3-5 лет позволит выявить и, в случае необходимости, скорректировать режимы эксплуатации месторождений, негативно сказывающихся на геодинамической и сейсмической активности территории.

Если в ходе проведения сейсмологического мониторинга была выявлена критически опасная геодинамическая активность (среднегодовой результирующий выход объема сейсмической энергии на месторождении больше 10^7 Дж или регистрация землетрясения с магнитудой $M_I > 2,5$), то необходим комплекс дополнительных измерений вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности на исследуемой территории месторождений.

Выводы

1. Обоснована необходимость выполнения наблюдений за геодинамическими процессами, сопровождающими разработку месторождений нефти и газа, расположенных в национальном парке «Бузулукский бор», учитывая значение Бузулукского бора как объекта природного, историко-культурного и научного значения мирового уровня. Приведено множество геодинамических факторов, влияющих на объекты нефтегазового комплекса, которые в условиях национального парка могут оказать критическое воздействие на его состояние и даже существование.

2. Выявлено, что из множества геодинамических факторов, влияющих на объекты нефтегазового комплекса в Бузулукском бору, наиболее опасными являются современная аномальная геодинамика верхней части земной коры и сейсмическая активность, которые в большей мере проявляются в зонах тектонических нарушений.

3. Геологическое и тектоническое строение района месторождений в Бузулукском бору характеризуется их приуроченностью к Самаркинским дислокациям в пределах Бузулукской впадины. Основным контролирующим фактором на данной территории являются разломные зоны. Выявлена интенсивная расчлененность фундамента и покрывающих его терригенных и карбонатных толщ девона и карбона на множество протяженных структурно-блоковых ступеней и их систем, разделенных разломами. Доказано, что наиболее эффективным способом геодинамического мониторинга в условиях национального парка «Бузулукский бор» является использование сейсмологической сети, которая позволяет регистрировать подземные геодинамические процессы в объеме месторождений и их разгерметизацию как сейсмические события непрерывно. Данный способ не чувствителен к запрету ведения хозяйственной деятельности в условиях национального парка и густой растительности в отличие от традиционных методов, применяющихся для создания геодинамических полигонов на месторождениях УВ.

4. Разработаны схема геодинамического полигона и методика геодинамического мониторинга на месторождениях УВ на территории национального парка «Бузулукский бор», в основе которых лежит сейсмологическая сеть из 4-5 стационарных сейсмических станций. В 2024 году на территории научного стационара Института степи УрО РАН в п. Партизанский установлена сейсмическая станция, которая является первой станцией сейсмологической сети, спроектированной для геодинамического мониторинга верхней части земной коры Бузулукского бора и расположенных на его территории эксплуатируемых месторождений УВ.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Отдела геоэкологии ОФИЦ УрО РАН по теме «Разработка научных основ комплексного природопользования обеспечивающее устойчивое развитие природы с участием человека и с учётом его интересов на примере Южного Урала» № ГР 122011900412-7.

Авторы выражают благодарность администрации Института степи УрО РАН за возможность размещения на стационаре «Бузулукский бор» сейсмической станции.

Список литературы

1. Бузулукский бор: эколого-экономическое обоснование организации национального парка. Т. I. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 186 с.

2. Вельмовский П.В., Чибилёв А.А. Проблемы сохранения старовозрастных реликтовых сосняков Бузулукского бора в связи с разработкой нефтяных месторождений // Юг России: экологи, развитие. 2019. Т. 14. № 2. С. 59-69. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-59-69.
3. Вельмовский П.В., Чибилёв А.А. Нефтяные промыслы Бузулукского бора: история освоения, экологические последствия и риски, перспективы их минимизации // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. № 4. 11 с. DOI: 10.24411/2304-9081-2019-14041 [Электр. ресурс]. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/VPV-2014-4.pdf> (дата обращения: 19.08.2024).
4. Shapiro S.A. Fluid-induced seismicity. Cambridge Univ. Press. 2015. 276 p.
5. Doglioni C.A. Classification of induced seismicity // Geoscience Frontiers. 2018. Vol. 9. P. 1903-1909. DOI: 10.1016/j.gsf.2017.11.015.
6. Кузьмин Ю.О. Индуцированные сейсмические процессы на месторождениях нефти и газа // Проблемы недропользования. 2019. № 4. С. 9-16. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.009.
7. Кузьмин Ю.О. Индуцированные деформации разломных зон // Физика Земли. 2019. № 5. С. 61-75. DOI: 10.31857/S0002-33372019561-75.
8. Нестеренко М.Ю., Цвяк А.В., Белов В.С. Современная практика наблюдений за опасными геодинамическими процессами в районах добычи полезных ископаемых на примере Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2022. 160 с.
9. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. М.: ИДГ РАН, 2015. 364 с.
10. Денцкевич И.А., Яхимович Г.Д., Бедин А.Г. Тектонические критерии для оценки перспективных направлений геологоразведочных работ в Оренбургской области: геологический отчет / ВНИГНИ, ЮУФ. Оренбург, 1995. 137 л. (геологические фонды ТФГИ).
11. Копп М.Л., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А., Тверитинова Т.Ю., Васильев Н.Ю., Корчемагин В.А., Макарова Н.В., Мострюков А.О., Иоффе А.И. Кайнозойские напряжения востока Русской плиты, Южного и Среднего Урала: методические, теоретические и прикладные аспекты / Отв. ред. Ю.Г. Леонов, М.Л. Копп; Труды Геологического института. Вып. 610. М.: ГЕОС, 2014. 88 с.
12. Lanari R., Casu F., Manzo M., Zeni G., Berardino P., Manunta M., Pepe A. An overview of the Small BAseline Subset Algorithm: A DInSAR technique for surface deformation analysis // Pure and Applied Geophysics. Basel, 2007. Vol. 164 (4). P. 637-661. DOI 10.1007/s00024-007-0192-9.
13. Кафтан В.И., Татаринев В.Н., Маневич А.И., Прусаков А.Н., Кафтан А.В. Оценка точности ГНСС-наблюдений на эталонном базисе как средство проверки измерительной аппаратуры локального геодинамического мониторинга // Геодезия и картография. 2020. № 7. С. 37-46. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-961-7-37-46.
14. Пампушка А.М., Лукиных Э.Н. Проведение экологических исследований по оценке состояния поисково-разведочных скважин, пробуренных на территории Бузулукского бора (в пределах Оренбургской области): отчет / ООО «КНИ и ВЦ «Геоэкология». Оренбург, 2014. (геологические фонды ТФГИ).
15. Иванищев В.С., Соколов А.Г. Обоснование сдвиговых деформаций на примере Самаркиных дислокаций // Геология, разработка и обустройство нефтяных и газовых месторождений Оренбургской области / Научные труды ОАО ОренбургНИПИнефть. Вып. 4. Оренбург, 2007. С. 119-123.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 09.09.2024
Принята к публикации 28.11.2024

GEOECOLOGY OF OIL AND GAS FIELDS IN THE BUZULUK PINE FOREST NATIONAL PARK

M. Nesterenko, A. Chibilyov

OFRC UB RAS, Department of Geoecology, Russia, Orenburg

e-mail: geoecol-onc@mail.ru

The article considers the geoecological problems of the subsoil arising in connection with the development of oil and gas fields in the Buzuluk Pine Forest National Park. The need to monitor geodynamic processes associated with the development of oil and gas fields in the Buzuluk Pine Forest National Park has been substantiated. A method for creating a geodynamic testing site at hydrocarbon fields in the Buzuluk region based on a seismic network is proposed. This method is not sensitive to the ban on economic activities in the area of the National Park and the dense vegetation. Information is presented about the seismic station installed in 2024 on the territory of the Buzuluk Pine Forest scientific base of the Institute of Steppe in Partizansky settlement.

Key words: Buzuluk Pine Forest, national park, geoecology, man-made geodynamic processes, seismics, oil and gas fields, geodynamic monitoring.

References

1. Buzuluskii bor: ekologo-ekonomicheskoe obosnovanie organizatsii natsional'nogo parka. T. I. Ekaterinburg: UrO RAN, 2008. 186 s.
2. Vel'movskii P.V., Chibilev A.A. Problemy sokhraneniya starovozrastnykh reliktovykh sosnyakov Buzuluskogo bora v svyazi s razrabotkoi neftyanykh mestorozhdenii. Yug Rossii: ekologi, razvitie. 2019. T. 14. N 2. S. 59-69. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-59-69.
3. Vel'movskii P.V., Chibilev A.A. Neftyanye promysly Buzuluskogo bora: istoriya osvoeniya, ekologicheskie posledstviya i riski, perspektivy ikh minimizatsii. Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN. 2019. N 4. 11 s. DOI: 10.24411/2304-9081-2019-14041 [Elektr. resurs]. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/VPV-2014-4.pdf> (data obrashcheniya: 19.08.2024).
4. Shapiro S.A. Fluid-induced seismicity. Cambridge Univ. Press. 2015. 276 p.
5. Doglioni C.A. Classification of induced seismicity. Geoscience Frontiers. 2018. Vol. 9. P. 1903-1909. DOI: 10.1016/j.gsf.2017.11.015.
6. Kuz'min Yu.O. Indutsirovannye seismicheskie protsessy na mestorozhdeniyakh nefi i gaza. Problemy nedropol'zovaniya. 2019. N 4. S. 9-16. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.009.
7. Kuz'min Yu.O. Indutsirovannye deformatsii razlomnykh zon. Fizika Zemli. 2019. N 5. S. 61-75. DOI: 10.31857/S0002-33372019561-75.
8. Nesterenko M.Yu., Tsvyak A.V., Belov V.S. Sovremennaya praktika nablyudenii za opasnymi geodinamicheskimi protsessami v raionakh dobychi poleznykh iskopaemykh na primere Yuzhnogo Urala. Ekaterinburg: UrO RAN, 2022. 160 s.
9. Adushkin V.V., Turuntaev S.B. Tekhnogennaya seismichnost' – indutsirovannaya i triggernaya. M.: IDG RAN, 2015. 364 s.
10. Dentskevich I.A., Yakhimovich G.D., Bedin A.G. Tektonicheskie kriterii dlya otsenki perspektivnykh napravlenii geologorazvedochnykh rabot v Orenburgskoi oblasti: geologicheskii otchet. VNIGNI, YuUF. Orenburg, 1995. 137 l. (geologicheskie fondy TFGI).
11. Kopp M.L., Verzhbitskii V.E., Kolesnichenko A.A., Tveritina T.Yu., Vasil'ev N.Yu., Korchemagin V.A., Makarova N.V., Mostryukov A.O., Ioffe A.I. Kainozoiskie napryazheniya vostoka Russkoi plity, Yuzhnogo i Srednego Urala: metodicheskie, teoreticheskie i prikladnye aspekty. Otv. red. Yu.G. Leonov, M.L. Kopp; Trudy Geologicheskogo instituta. Vyp. 610. M.: GEOS, 2014. 88 s.
12. Lanari R., Casu F., Manzo M., Zeni G., Berardino P., Manunta M., Pepe A. An overview of the Small BAseline Subset Algorithm: A DInSAR technique for surface deformation analysis. Pure and Applied Geophysics. Basel, 2007. Vol. 164 (4). P. 637-661. DOI 10.1007/s00024-007-0192-9.

13. Kaftan V.I., Tatarinov V.N., Manevich A.I., Prusakov A.N., Kaftan A.V. Otsenka tochnosti GNSS-nablyudenii na etalonnom bazise kak sredstvo proverki izmeritel'noi apparatury lokal'nogo geodinamicheskogo monitoringa. Geodeziya i kartografiya. 2020. N 7. S. 37-46. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-961-7-37-46.

14. Pampushka A.M., Lukinykh E.N. Provedenie ekologicheskikh issledovaniy po otsenke sostoyaniya poiskovo-razvedochnykh skvazhin, proburenykh na territorii Buzulukского bora (v predelakh Orenburgskoi oblasti): otchet. OOO "KNI i VTs "Geoekologiya". Orenburg, 2014. (geologicheskie fondy TFGI).

15. Ivanishchev V.S., Sokolov A.G. Obosnovanie sdvigovykh deformatsii na primere Samarkinskikh dislokatsii. Geologiya, razrabotka i obustroystvo neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii Orenburgskoi oblasti. Nauchnye trudy OAO OrenburgNIPIneft'. Vyp. 4. Orenburg, 2007. S. 119-123.

Сведения об авторах:

Нестеренко Максим Юрьевич

Доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий отделом геоэкологии, Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук

ORCID 0000-0003-1465-0752

Nesterenko Maxim

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Geoecology, Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Чибилёв Александр Александрович

Ведущий инженер отдела геоэкологии, Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук

ORCID 0000-0002-4487-6034

Chibilyov Alexander

Senior Engineer of the Department of Geoecology, Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Для цитирования: Нестеренко М.Ю., Чибилёв А.А. Геоэкология нефтегазовых месторождений в национальном парке «Бузулукский бор» // Вопросы степеведения. 2024. № 4. С. 80-89. DOI: 10.24412/2712-8628-2024-4-80-89