

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 630.431

ПИРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

А. В. Софронова¹, А. В. Волокитина²

¹ *Средняя общеобразовательная школа № 6
655602, Республика Хакасия, Саяногорск, Ленинградский мкр., 51*

² *Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

E-mail: asofronova.rf@gmail.com, volokit@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 03.02.2023 г.

Рассмотрены проблемы горимости участков размещения объектов нефтегазовой отрасли и необходимость проведения пирологической экспертизы. Впервые в РФ оценку воздействия на окружающую среду нефтегазовых комплексов предложено дополнить технологией пирологической экспертизы, разработанной в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН и вошедшей в список Топ-1000 форума «Сильные идеи для нового времени-2022». Внесено предложение дополнить пункт 7.13.1.19 Приказа Минприроды от 01.12.2020 № 999 «Об утверждении требований к материалам оценки воздействия на окружающую среду» противопожарным обустройством территории в соответствии с рекомендациями пирологической экспертизы. Приведено понятие пирологической экспертизы. Рассмотрены вопросы оценки природной пожарной опасности в России и экологической политики нефтегазодобывающих компаний. Для снижения горимости участков нефтегазовых месторождений, повышения пожарной безопасности нефтегазовых объектов, лучшей интеграции российских нефтегазодобывающих компаний в процесс энергоперехода, обозначенного Парижским соглашением 2015 г., и выполнения требований по декарбонизации отрасли, ESG-развитию, предложены полный пересмотр принципов корпоративного управления и имеющихся технологий, а также перестройка мышления. Отмечена необходимость включения пожаров растительности, число которых увеличивается с освоением месторождений, в перечень источников парниковых газов. Дан обзор материалов и методов, которые могут быть использованы при проведении пирологической экспертизы. Разработаны методические рекомендации по проведению пирологической экспертизы на основе современного метода оценки природной пожарной опасности – составления карт растительных горючих материалов и оценки пожароопасности нефтегазовых объектов на примере результатов исследования Юрубчено-Тохомского месторождения. Представленные методические рекомендации основаны на результатах многолетних фундаментальных пирологических исследований и на использовании современных материалов дистанционного зондирования Земли, геоинформационных технологий. Проведение пирологической экспертизы нефтегазодобывающими компаниями будет способствовать снижению числа пожаров растительности и снижению выбросов парниковых газов, повышению инвестиционной привлекательности компаний и ESG-рейтингу.

Ключевые слова: *оценка природной пожарной опасности, карты растительных горючих материалов, ГИС-технологии, ESG-рейтинг нефтегазодобывающих компаний.*

DOI: 10.15372/SJFS20230301

ВВЕДЕНИЕ

Освоение северных нефтегазовых месторождений Сибири – одно из главных направлений развития российской добывающей промышленности, имеющее огромное экономическое значение. При развитии нефтегазовых комплексов (НГК) необходимо помнить, что залогом устойчивого развития является промышленная и экологическая безопасность, рациональное использование ресурсов.

По оценкам ООН, ежегодно на Земле лесными пожарами охватывается 650 млн га. В Сибири, где сосредоточено около 80 % (552 млн га) всего лесного массива России, ежегодно возникает 30 000 пожаров. За пожарный период в атмосферу выбрасывается 2 млн т продуктов горения. Приближенная оценка площади лесных пожаров составляет около 5 млн га, а пожаров всех видов растительности – около 10 млн га. Количество пыли и аэрозолей, ежегодно поставляемых в атмосферу эмиссией лесных пожаров, сопоставимо с выбросами вулканов и составляет 20–150 млн т (Экологическая экспертиза, 2023).

Неуправляемые пожары растительности представляют угрозу и самим объектам нефтегазовой отрасли, препятствуют проведению авиационных работ. От многочисленных крупных пожаров ухудшается экологическая обстановка в соседних густонаселенных регионах: дым от пожаров распространяется на большие территории, входящий в его состав угарный газ отрицательно влияет на здоровье людей.

В рамках проведения оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) при оценке влияния объектов НГК на лесные территории природная пожарная опасность (ППО) и ее изменение в результате хозяйственной деятельности человека не учитываются, хотя пожары растительности являются мощным экологическим фактором, и их отрицательное влияние на природную среду может превышать уровень промышленного загрязнения. Приказ Минприроды от 01.12.2020 № 999 «Об утверждении требований к материалам оценки воздействия на окружающую среду» (2020) не содержит, к сожалению, ни одного пункта, посвященного проблеме оценки природной пожарной опасности. Меры по охране почвенного покрова в отношении месторождений углеводородного сырья представлены минимизацией площади изъятия, снятием и временным складированием плодородного слоя почвы, гидроизоляцией стенок и дна систем накопления отходов бурения и продуктов испытания

скважин. Пункт 7.13.1.19 описания планируемой деятельности в отношении месторождений углеводородного сырья необходимо расширить, а «вывод о наилучшем с точки зрения охраны окружающей среды варианте разработки и обустройства месторождения» (Приказ..., 2020) дополнить противопожарным обустройством территории в соответствии с рекомендациями пирологической экспертизы

Под пирологической экспертизой мы подразумеваем ряд мероприятий, направленных на оценку ППО, оценку распределения нефтегазовых объектов во времени и по территории как потенциальных источников огня и на разработку рекомендаций по рациональному проведению противопожарных мероприятий. Решение задач пирологической экспертизы возможно при наличии информации о распределении растительных горючих материалов (РГМ) по территории и их характеристике, включающей прежде всего оценку типов основных проводников горения (ОПГ) (Волокитина, 2012). Такую информацию содержат карты РГМ, которые служат матрицей для создания серии карт текущей природной пожарной опасности для каждого класса засухи (по условиям погоды) в разное время года. Составление карт РГМ и оценки текущей ППО позволяет определять участки территории повышенной опасности по классам засухи и составлять прогноз поведения пожара.

Нефтегазодобывающим компаниям необходимо понимать ответственность за размещение пожароопасных объектов и увеличение потенциальных источников огня в природной среде, а также возможного развития катастрофических верховых пожаров, представляющих угрозу для персонала, инфраструктуры и промышленных объектов и наносящих огромный ущерб лесному хозяйству, поэтому проведение пирологической экспертизы актуально и востребовано.

Цель работы – подготовить методические рекомендации по проведению пирологической экспертизы нефтегазовых комплексов с использованием современных методов составления карт РГМ и дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с применением ГИС-технологий. Исследования начаты с анализа естественной и техногенной горимости в районе Юрубчено-Тохомского нефтегазового месторождения в рамках работ по космическому мониторингу воздействия нефтегазовых объектов на окружающую среду месторождений (Софронова, 2011) и продолжались в течение 14 лет.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Со стороны крупных нефтегазодобывающих компаний («Газпром», «Роснефть», «Лукойл», «Газпромнефть», «Татнефть» и «Новатэк») с целью повышения акционерной стоимости и повышения инвестиционной привлекательности начата политика по ESG-развитию (англ. *environmental* – экология, *social* – социальное развитие, *governance* – корпоративное управление). Проверка компании на соответствие принципам ESG – это один из мировых принципов ответственного инвестирования.

Для снижения горимости участков нефтегазовых месторождений, повышения пожарной безопасности нефтегазовых объектов (НГО), лучшей интеграции российских нефтегазодобывающих компаний в процесс энергоперехода (глобальной трансформации энергосистем, включающей в себя четыре элемента: энергоэффективность, декарбонизацию, децентрализацию, цифровизацию), обозначенного Парижским соглашением в 2015 г. (Энергопереход..., 2021), и выполнения требований по декарбонизации отрасли ESG-развитию требуются полный пересмотр принципов корпоративного управления и имеющихся технологий, а также перестройка мышления. При выборе направления устойчивого развития необходимо в центр внимания ставить не повышение акционерной стоимости компании (Приказ..., 2009), а сохранение исчерпаемых природных ресурсов и окружающей природной среды. При перестройке мышления было бы целесообразно заменить термин «регионы присутствия компании» на «территория ответственности» (В центре..., 2021).

При анализе источников выбросов парниковых газов необходимо в них включать возникающие пожары растительности. Например, CopocoPhillips с 2005 г. инвестирует 1 млн долл. ежегодно в пожароохранные проекты в Австралии, получая углеродные зачеты в размере 100 000 т CO₂ (Грушевенко и др., 2021).

Правительство РФ обеспокоено проблемой возрастающей горимости лесных территорий, о чем свидетельствуют указы Президента от 01.01.2018 № 2 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года» (2018) и от 15.06.2022 № 382 «О мерах по сокращению площади лесных пожаров в Российской Федерации» (2022). Последний указ регламентирует Правительству Российской Федерации совместно с высшими должностными

лицами субъектов Российской Федерации обеспечить сокращение площади лесных пожаров на землях лесного фонда в 2022–2030 гг. не менее чем на 50 % относительно уровня 2021 г. (Указ..., 2022).

В настоящее время в России оценка природной пожарной опасности, утвержденная Приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 05.07.2011 № 287 (2011), недостаточно точна, она не позволяет решать вопрос прогнозирования поведения пожаров. В Приказе (2011) используется классификация природной пожарной опасности лесов, основанная на шкале оценки лесных участков по классам природной пожарной опасности академика И. С. Мелехова (1947).

За 75 лет (с 1947 г.) последователями И. С. Мелехова изучены запасы РГМ по видам для отдельных типов леса, теплотворная способность РГМ и плотность слоя, а также связь их влагосодержания с лесопожарными показателями засухи. Обобщена накопленная информация по скорости созревания разных типов леса, дополнительно проведены пирологические наблюдения и описания в разных регионах России и разработана детальная классификация растительных горючих материалов, позволившая начать разномасштабное картографирование РГМ (Волокитина, Софронов, 2002). На основе крупномасштабных карт РГМ появилась возможность более точной оценки природной пожарной опасности участков растительности, в том числе текущей под влиянием изменений погодных условий, а также возможность прогнозирования поведения пожаров растительности, включая лесные (Волокитина и др., 2010).

На сегодняшний момент в лаборатории лесной пирологии Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН разработано программное обеспечение для автоматизированного составления карт оценки ППО и прогноза поведения пожаров (Корец, Волокитина, 2014, 2015).

В данной статье представлены результаты разработки методических рекомендаций по проведению пирологической экспертизы НГК Красноярского края (Софронова, Волокитина, 2021).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наиболее эффективными при проведении пирологической экспертизы объектов НГК являются методы дистанционного зондирования Земли и картографирования, так как они позволяют

охватить одновременно большую территорию, увидеть ситуацию в целом, тем самым упрощают восприятие многокомпонентной системы, ее анализ, принятие решений в управлении.

Ежегодно объем данных ДЗЗ увеличивается. В настоящее время развитие сетевой инфраструктуры и информационных технологий позволяет организовать не только доступ к архивам данных ДЗЗ на новом уровне, при котором можно решать задачи при помощи специализированного интерфейса доступа к спутниковым данным, но и создавать инструменты для анализа космических снимков. В статье Е. А. Лупяна с соавт. (2015) перечислены существующие веб-порталы и информационные системы доступа к сверхбольшим архивам спутниковых данных и их анализа, позволяющие обрабатывать большой объем спутниковой информации за счет мощностей центров предоставления данных. К перечисленным в указанной статье инструментам работы с космическими снимками и их анализа следует добавить платформу NextGIS (2023), позволяющую четко упорядочивать создаваемые в процессе работы файлы и легко их находить.

При картографировании с использованием данных ДЗЗ процесс дешифрирования является преобладающим, от него зависит качество картографического продукта. Автоматизированные методы сводятся к различным способам математической классификации спектральных характеристик пикселей, представленных в цифровом виде. Применение этих методов требует наличие дорогостоящего программного обеспечения и узкой специализации в математических методах вычислений. В результате проведенной классификации получают растровое изображение. Его называют картой классификации, или цифровой картой (Лабутина, 2004), которая не является картой. Разделение объектов при классификации основано на их яркостных свойствах, а на карте – по их сущности. Карта классификации лишена картографической генерализации. Дополнительная обработка полученного изображения может частично компенсировать эти недостатки, например автоматическая векторизация, которая заключается в оконтуривании всех пикселей, различающихся по яркости или присвоенному значению с соседними элементами.

Недостаток методов классификации – их обособленность от причин, обуславливающих тот или иной набор значений спектральной яркости пикселя. Два различных объекта, имеющих близкую отражательную способность,

могут быть отнесены к одному классу. В связи с этим возникла необходимость развития методов, учитывающих форму, размер, текстуру объектов (Манович и др., 2013).

Большое значение при выборе метода дешифрирования имеет разрешение снимка – одна из основных характеристик снимка. При дешифрировании изображений сверхвысокого разрешения возникает проблема зернистости изображения, когда крона одного дерева, например, представлена пикселями со спектральными значениями листвы и тени от них. Большое влияние в разреженных древостоях оказывает и почвенный покров.

Существует еще одно направление автоматизированного дешифрирования ДДЗ – перевод значений спектральной яркости пикселей в значения различных вегетационных индексов – количественные показатели состояния растительности. По изменениям их значений определяют изменения, происходящие в растительном покрове, осуществляют мониторинг, составляют карты различных тематик: по оценке продуктивности лесных ресурсов, мониторингу вырубок, всходов сельскохозяйственных культур восстановлению гарей и др.

При всем разнообразии, вегетационные индексы подходят для территорий с густым растительным покровом. Если он разреженный, то спектр снимка в основном зависит от почв, которые могут различаться очень сильно по отражению, даже если для анализа используются очень широкие спектральные диапазоны. В различных экологических направлениях разрабатываются методы тематической автоматизированной классификации, в которых делается попытка совместить спектральные значения яркостей пикселей с параметрами среды, определяющих растительный покров (рельеф, осадки, гидрография). Так, А. В. Хорошев с соавт. (2010) исследуют отношения в системе «рельеф – почва» на основе спектральных значений яркости пикселей и цифровой модели рельефа в разных масштабах. Путем перебора разных масштабов и построения статистических моделей межкомпонентных отношений в ландшафте выявляются целостные ландшафтные структуры.

И. В. Данилова и соавт. (2010) используют методику автоматизированного картографирования растительного покрова на основе лесорастительного районирования. Главным критерием выделения однородной территории при картографировании растительности на основе лесорастительного районирования является климат.

В качестве аргументов при построении моделей пространственной изменчивости климата взяты осадки, абсолютная высота и расстояния до орографических барьеров, температура воздуха. В результате получается карта геоморфологических комплексов (ГМК) – участков, однородных по экологическим режимам, создающим определенные лесорастительные условия.

У Т. В. Черненковой с соавт. (2012) построение картографической модели опирается на индикацию границ лесных экосистем и их свойств по характеристикам, отражающим их варьирование. Ключевым понятием цифрового пространственного анализа является элементарная территориальная единица (ЭТЕ), представляющая собой ячейку сетки (матрицы), регулярно покрывающей всю территорию. Цифровые модели рельефа (ЦМР) и местности (ЦММ) используются для расчета морфометрических характеристик рельефа, определяющих закономерности дифференциации растительного покрова. По этим характеристикам описываются потенциальные свойства местообитаний, задаваемые неровностями земной поверхности, определяющими перераспределение тепла и влаги.

Из представленных примеров методических подходов автоматизированного дешифрирования видно, что для повышения достоверности результатов необходимо привлечение данных об экологических условиях произрастания растительности, интерпретация полученных результатов не обходится без оценки эксперта. Таким образом, автоматизированные методы дешифрирования представляются наиболее дорогостоящими, так как требуют специализированного программного обеспечения и высококвалифицированных специалистов, владеющих математическими методами анализа цифрового изображения и знающих экологические особенности произрастания растительности.

Визуальные методы дешифрирования просты и доступны каждому исследователю. Методом ландшафтно-индикационного дешифрирования можно определить объекты и их свойства, даже не изобразившиеся на снимке, но недостатком его может быть субъективность дешифровщика, его погрешность в выделении контуров, от которой зависят площадные или линейные характеристики объектов. При визуальном дешифрировании первостепенную роль играют информационная база знаний и опыт дешифровщика. Наилучшие результаты при составлении карт по цифровым снимкам можно получить методом визуального дешифрирования в сочета-

нии с результатами автоматизированных методов дешифрирования.

При картографировании РГМ главной пирологической характеристикой, отображаемой на картах, является тип основного проводника горения (тип ОПГ) – непрерывный слой РГМ на поверхности почвы, по которому может распространяться пламенное горение (Волокитина, Софронов, 2002).

Идея классификации ОПГ отражена в следующей схеме:

«Мшистая» подгруппа:	Лш	Сх	Вл	Бм1	Бм2
«Опадная» подгруппа:	Тв ↔	Рх ↔	Пл ↔	Бп1	Бп2
Критические классы засухи (КЗ) для типов ОПГ:	I КЗ	II КЗ	III КЗ	IV КЗ	Негоримые

Примечание. Лш – лишайниковый; Сх – сухомшистый; Вл – влажно-мшистый; Бм1 – болотно-моховый 1; Бм2 – болотно-моховый 2; Тв – травяно-ветошный; Рх – рыхлоопадный; Пл – плотноопадный; Бп1 – беспроводниковый 1; Бп2 – беспроводниковый 2.

Здесь к одному типу ОПГ были отнесены непрерывные слои ОПГ на поверхности почвы, достигающие горимого состояния при одном классе засухи (если высыхание происходит при типовых условиях: отсутствии уклона, средней полноты древостоя (0.5–0.7), наличии хвои и листвы в пологе древостоя). В наименовании типов ОПГ отражены те характеристики, которые имеют значение для возникновения и распространения горения – это состав, увлажненность (режим увлажненности), плотность растительных горючих материалов. Кроме того, типы ОПГ «опадной» подгруппы могут меняться в течение сезонов. Поэтому при дешифрировании типов ОПГ используют визуальный ландшафтно-индикационный метод, который позволяет использовать в работе максимальное количество дешифровочных прямых и косвенных признаков.

Для получения представления о растительном покрове исследуемой территории и типов ОПГ анализируют «Схему типов леса», используемую при лесоустройстве лесничеств. Определение типа ОПГ в каждом типе леса проводят по краткому определителю типов ОПГ (Волокитина, 1990; Волокитина, Софронов, 2002) и методике пирологического описания участков растительности (Софронов, Волокитина, 2007).

В составлении карт РГМ существует два методологических подхода: по непосредственной индивидуальной пирологической характеристике участков в полевых условиях и по косвенной пирологической характеристике участков на основе лесоустроительной информации, тематических карт и результатов дешифрирования космических снимков. Ввиду большой площади участка (около 106 км²) и отсутствия возможности проведения полевых исследований, в данной работе использован подход на основе лесоустроительной информации, тематических карт и результатов дешифрирования космических снимков.

Для выполнения пирологической экспертизы на конкретное предприятие необходима адаптация имеющихся разработок к конкретным природным условиям с учетом вида и качества информации, имеющейся на данную территорию.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе формирования НГК можно выделить два основных этапа: экстенсивный (разведочные работы – проявляются в прокладывании протяженных сейсмопрофилей, в размещении разведочных буровых площадок, удаленных друг от друга на большие расстояния) и интенсивный (характеризуется обустройством перспективных буровых площадок в кусты, строительством объектов инфраструктуры, прокладыванием нефтепроводов). При освоении крупных месторождений этапы чередуются.

При проведении пирологической экспертизы важно выяснить, на каком этапе находится формирование НГК. При отсутствии официальных данных получить сведения можно по временному ряду оптико-электронных космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения. На этапе экстенсивного освоения пирологическую экспертизу рекомендуется проводить на основе составления среднемасштабных карт РГМ (1 : 200 000 – 1 : 100 000). Среднемасштабные карты РГМ позволяют оценить ППО по текущим природным условиям, выявить наиболее пожароопасные участки. Таким образом, они могут выступать в качестве основы для планирования безопасного проведения работ на участках, не готовых к горению при текущих условиях погоды.

Для пирологической экспертизы на этапе интенсивной разработки месторождений целесообразно будет использовать крупномасштабные

карты РГМ (1 : 50 000 – 1 : 25 000), которые позволят учесть расположение небольших объектов, наиболее точно определить пирологические характеристики природной среды на основе полевых исследований.

При проведении пирологической экспертизы участка разработки месторождения важно учитывать характер пожароопасности и воздействия НГО на изменение пирологических характеристик растительности. На карте оценки текущей ППО выделяют объекты НГО как потенциальные источники загораний, обладающие высокой пожарной опасностью – факелы, кусты и другие объекты, имеющие скопление углеводородов (пункты сбора нефти), средней пожарной опасностью – разведочные объекты и объекты транспорта, низкой пожарной опасностью – промышленные минерализованные площадки, на которых могут присутствовать горючесмазочные материалы, и объекты, пожарная опасность на которых отсутствует – распространение горения невозможно, например карьеры камня, песка.

Строительство и эксплуатация НГК изменяет характер РГМ, условия их увлажнения и высыхания, повышает пирологическую расчлененность территории, ее доступность и количество антропогенных источников огня на ней. При создании НГК происходит вырубка леса на трассах дорог и трубопроводов, на строительных площадках наблюдается частичное или полное сдирание напочвенного покрова гусеницами тракторов, появляются карьеры и канавы.

На открытых участках, где вырублен лес, высыхание основных проводников горения, главной группы растительных горючих материалов, определяющей возможность возникновения и распространения горения по территории, происходит быстрее, чем под пологом леса, что повышает пожарную опасность.

Сдирание напочвенного покрова (минерализация) затрудняет распространение горения, но на обнаженной поверхности довольно быстро может развиваться осоковый или злаковый покров, что, напротив, значительно увеличивает пожарную опасность, поскольку весной и засушливой осенью может образоваться достаточный для распространения горения запас травяной ветоши, «созревающей» уже при первом классе засухи по условиям погоды.

Откачивание воды из скважин при нефтегазодобыче может понизить уровень грунтовых вод и провоцировать процессы разболачивания, что сопровождается высыханием мха и подстил-

ки на заболоченных участках и повышением ППО (Методика..., 1992).

Дороги и трубопроводы, проложенные поперек даже слабых склонов, препятствуют поверхностному стоку и вызывают переувлажнение и заболачивание, особенно при тяжелосуглинистых подстилающих грунтах, а также усыхание насаждений. Если в процессе заболачивания разрастаются мхи (политрихум (*Polytrichum* Hedw.) и сфагнум (*Sphagnum* L.)), то ППО – снижается, а если разрастаются осоки (*Carex* L.) и злаки (Роасеае Varnhart), то ППО возрастает. Вниз по направлению от дороги (по склону) может происходить пересыхание почвы и увеличение пожарной опасности.

Особую роль играют потери нефти. С одной стороны, они отравляют среду, уничтожают растительность, т. е. часть растительных горючих материалов, но с другой – сама нефть является горючим материалом.

Дороги вдоль трубопроводов могут играть роль противопожарных барьеров на пути распространения лесных пожаров, если не зарастают злаками и осоками, и тем самым облегчают борьбу с ними. Но таежные дороги служат также путями проникновения в лес людей – носителей источников огня. Кроме наземного транспорта, в нефтегазовой отрасли очень широко используется авиатранспорт, особенно вертолеты, поэтому практически любая, самая удаленная точка тайги в районе стала доступной. Современное кризисное состояние экономики, безусловно, усилит посещаемость лесов людьми для сбора ягод, грибов, охоты и рыбной ловли, что еще больше увеличит число источников огня.

В критические погодные периоды (в особо засушливое и жаркое лето) может появиться опасность возникновения крупных пожаров в зонах разработки нефтегазовых месторождений и возле трубопроводов. Это создает угрозу уничтожения важных хозяйственных объектов на нефтяных и газовых скважинах, тушить которые очень трудно. Пожары могут распространяться на большие лесные площади, а также угрожать населенным пунктам. И наконец, выгорание торфяных залежей в районах НГК и по трассам трубопроводов может привести к последующему широкому обводнению территории и значительному удорожанию работ.

Порядок проведения работ при пирологической экспертизе:

1. Выполнить дешифрирование нефтегазовых объектов по данным ДЗЗ, составить карту их размещения, идентифицировав их по:

- форме и размеру (выделить площадные и линейные объекты);
- функциональному состоянию (действующие, законсервированные буровые площадки);
- по пожароопасности.

При проведении ретроспективного анализа временного ряда космических снимков в ГИС информационную базу рекомендуется вести с присвоением кодов объектам согласно объектно-временному иерархическому дедуктивному принципу. Все картографируемые объекты делят на три группы: 1) объекты разработки и эксплуатации месторождений, 2) объекты инфраструктуры, 3) объекты нарушения земель и растительности. Каждой группе присваивают код 1, 2, 3 соответственно. Принадлежность объекта к той или иной группе отмечается первой цифрой. Вторая цифра указывает на суть объекта, его функции. Освоение территории начинают с прокладывания геофизических профилей, по которым в дальнейшем осуществляется движение транспорта. Они выполняют несколько функций, но по сути воздействия на окружающую природную среду представляют просеки, поэтому эти объекты вошли в группу объектов нарушений растительности.

Функционально измененные участки, например дороги или ЛЭП, вошли в группу объектов инфраструктуры. Разведочные буровые скважины и их площадки – следующий этап в изучении запасов месторождения. Помимо вырубок растительности и нарушения почвенного покрова на их местах остаются амбары. Эти объекты отнесены к группе разработки и эксплуатации месторождений, им был присвоен номер 1. После разведочных буровых скважин идет строительство и обустройство кустов скважин. Этим объектам был присвоен порядковый номер 2 в данной группе объектов. Таким образом, нумерация объектам внутри группы присвоена по очередности их размещения. Если исследование предполагает выделение временных периодов, то каждому из них присваивают номер, указывающийся третьей цифрой в коде объекта. Таким образом, код объекта представляется тремя цифрами, по которому можно определить его характер, функции и время появления (см. таблицу).

Эта классификация позволяет идентифицировать каждый отдельно взятый объект, добавлять новые объекты, которые могут возникнуть по мере освоения и разработки месторождения без нарушения ряда и упростить работу с данными. Графическое отражение классификации представлено в легенде карты, где каждому объ-

Классификация и коды объектов на участке освоения Юрубчено-Тохомского месторождения

Группа объектов	Объект	Код
Разработка и эксплуатация месторождений	Площадки под буровые скважины	1.1.n
	Куст эксплуатационной скважины	1.2.n
	Промышленные объекты	1.3.n
	Факел	1.4.n
	Газопровод внутрипромысловый	1.5.n
	Нефтепровод внутрипромысловый	1.6.n
Инфраструктура	Автомобиля грунтовая	2.1.n
	Автомобиля на насыпи	2.2.n
	ЛЭП	2.3.n
	Карьер	2.4.n
	Вахтовый поселок	2.5.n
Нарушение земель и растительности	Геофизический профиль	3.1.n
	Вырубка	3.2.n
	Пожарища	3.3.n

Примечание. n – код периода (1970–1984 – 1; 1984–2001 – 2; 2001–2013 – 3).

екту присвоен знак, а периоду его размещения – цвет линий (для линейных объектов) или границ (для площадных объектов) (см. рисунок).

2. Провести анализ расположения объектов по отношению к формам рельефа и гидрографии – отметить участки, на которых возможно изменение пирологических характеристик растительности в результате воздействия размещенных НГО.

3. Изучить схему типов леса лесничества, на территории которого расположено исследуемое месторождение. Пользуясь определителем, составить пирологическую характеристику по типам основных проводников горения (Редькин, Волокитина, 2014).

4. Запросить материалы лесоустройства в виде векторных слоев и таксационного описания на исследуемый участок. Провести их анализ, в ГИС составить пирологическое описание каждого выдела, указав в информационной базе объектов номер выдела, преобладающие древесные породы, тип леса, возраст преобладающей породы, относительную полноту, экспозицию и крутизну склона, тип ОПГ для весны/осени и для лета, критический класс засухи для весны/осени и для лета.

5. В случае отсутствия лесоустроительных материалов необходимо провести ландшафтно-индикационное дешифрирование типов ОПГ, опираясь на эталонные участки растительности, на которые имеется лесоустроительная информация или, в случае ее полного отсутствия, – на результаты полевых исследований ключевых участков, идентифицируя и экстраполируя их по космическим снимкам.

6. На основе подготовленных векторных слоев размещения НГО (их воздействия на ППО), пирологической характеристики РГМ, гидрографии и рельефа составить прекарту (первый вариант карты, требующий верификации) пирологической экспертизы с указанием зон повышенной природной пожарной опасности (см. рисунок, б).

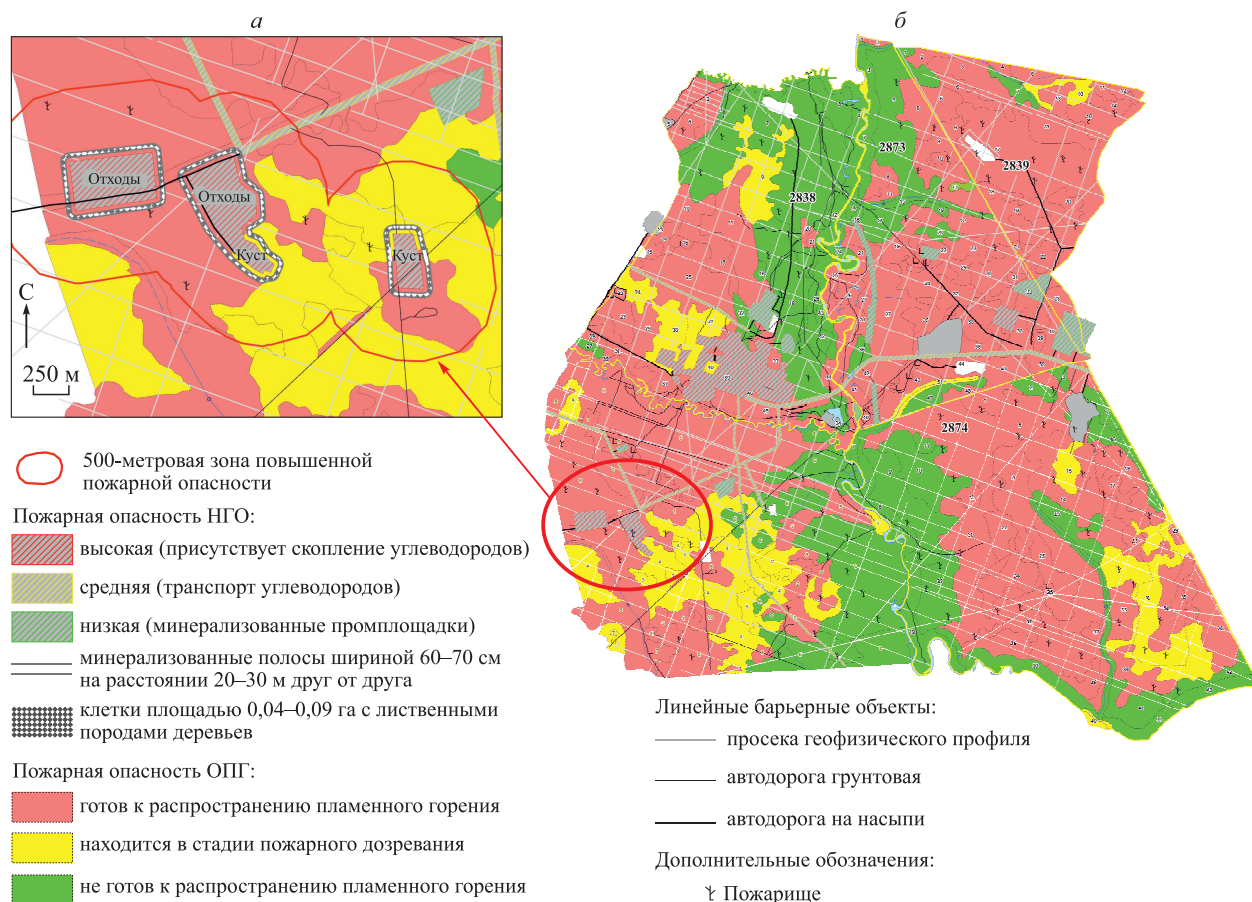
7. Выделить ключевые участки, требующие уточнения полевыми исследованиями (участки пожарищ, воздействия размещенных НГО на ППО, расположения типов ОПГ, идентификация которых затруднена по космическим снимкам).

8. Провести полевые исследования.

9. Составить карту пирологической экспертизы.

10. Использовать рекомендации по противопожарному обустройству, принятые в лесничествах, для всей территории НГК, а для каждого пожароопасного объекта разместить информационные и предупреждающие стенды для пропаганды и разъяснительной работы среди персонала и других посетителей территории (см. рисунок, а).

11. Уточнить маршруты авиапатрулирования, которые могут осуществляться в том числе с помощью квадрокоптеров и гирокайтов (Кузиков, 2022). В качестве рекомендаций по совершенствованию противопожарного устройства территории предлагается создание вокруг нефтегазовых объектов заградительной противопожарной полосы (см. рисунок). Для этого прокладывают две минерализованные полосы шириной 60–70 см на расстоянии 20–30 м друг от друга. Пространство между ними делят на



Пример прекарт пирологической экспертизы весенне-осеннего периода для III класса засухи.

а – противопожарное обустройство НГО; б – зоны повышенной природной пожарной опасности.

клетки площадью 0,04–0,09 га дополнительными минерализованными полосами. Из клеток удаляют валеж, вырубает и удаляют подрост, молодые хвойные деревья, но обязательно оставляют лиственные породы деревьев – березы (*Betula L.*) и осины (*Populus tremula L.*). Напочвенный покров в клетках выжигают. Выжигание должно проводиться при невысоком уровне засухи в вечернее время. Необходимо учитывать, что заградительная полоса не может выполнять роль надежной защиты объекта от верхового пожара. При возникновении и развитии сильного лесного пожара, движущегося в сторону любого объекта, включая и населенные пункты, заградительная полоса должна использоваться в качестве опорной линии для заблаговременного отжига.

Для обустройства 500-метровой зоны повышенной природной пожарной опасности рекомендуется удаление основных проводников горения любым способом:

- 1) сгребанием опада, выкашиванием травы;
- 2) безопасным выжиганием против ветра весной до оттаивания грунта;

3) минерализацией верхнего почвенного слоя.

Карты пирологической экспертизы могут быть использованы для разработки профилактических мероприятий: регулирование посещаемости пожароопасных участков территории; определение мест установки информационных и предупреждающих стенов для пропаганды и разъяснительной работы среди персонала; разработка маршрутов авиапатрулирования с учетом ежедневного территориального распределения пожароопасных участков; анализ эффективности авиапатрулирования территории.

В контексте энергоперехода, устойчивого развития и перестройки мышления компаниям целесообразно было бы проявлять гораздо большую вовлеченность в формирование на государственном уровне целей и задач по декарбонизации и развитию нефтегазовой отрасли, инвестированию в новые технологии, направленные на предупреждение аварийных ситуаций (Антонов, 2022) и пожароохранные проекты лаборатории лесной пирологии Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН для сокращения негативных последствий пожаров (Софронова и др., 2022).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Действующие требования к материалам ОВОС для ресурсодобывающих предприятий, принятые Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации по Приказу от 01.12.2020 № 999, не содержат оценку природной пожарной опасности и влияния пожаров растительности, включая лесные, на окружающую среду, хотя пожары растительности являются мощным экологическим фактором, и их отрицательное влияние на природную среду может даже превышать уровень промышленного загрязнения.

Впервые в РФ проведение оценки воздействия на окружающую среду нефтегазовых комплексов предлагается дополнить технологией пирологической экспертизы, разработанной в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН и вошедшей в список Топ-1000 форума «Сильные идеи для нового времени – 2022» (Софронова и др., 2022).

В основе представленных в данной статье методических рекомендаций – многолетние фундаментальные пирологические исследования и использование современных материалов дистанционного зондирования Земли, геоинформационных технологий. Предложенные методические рекомендации позволят выполнять пирологическую экспертизу планируемых и действующих НГК, что приведет к значительному снижению пожаров растительности, включая лесные, в ресурсодобывающих регионах. Проведение пирологической экспертизы нефтегазодобывающими компаниями будет способствовать снижению выбросов парниковых газов, повышению инвестиционной привлекательности компаний и ESG-рейтингу.

Для доработки и внедрения разработанных методических рекомендаций в практику необходимо их пилотирование на конкретном НГК Красноярского края с информационной эколого-просветительской поддержкой СМИ, с заинтересованностью нефтегазодобывающих компаний в сохранении лесных ресурсов и благоприятной окружающей среды, повышении пожарной безопасности НГО через финансирование проведения пирологической экспертизы, содействием Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Статья подготовлена в рамках базового проекта «Научные основы сохранения ресурсного и экологического потенциала лесов Сибири в условиях кумулятивных антропогенных и природных рисков», № FWES-2021-0010, Рег. НИОКТР № 121030900181-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонов Д. Система предотвращения аварий на трубопроводах // Форум «Сильные идеи для нового времени – 2022». СПб.: Росконгресс, 2022.
- Волокитина А. В. Принципы разработки определителя типов основных проводников горения (на примере Красноярского Приангарья). М.: ВИНТИ, 1990. № 5352-V90. 31 с.
- Волокитина А. В. Пирологическая экспертиза ресурсодобывающих предприятий // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 6. С. 67–72.
- Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 314 с.
- Волокитина А. В., Софронов М. А., Корец М. А., Софронова Т. М., Михайлова И. А. Прогноз поведения лесных пожаров. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2010. 211 с.
- В центре внимания – человек. Отчет об устойчивом развитии. М.: РУСАЛ, 2021. <https://rusal.ru/upload/iblock/749/vjb1mj5ndij4neep8pnjervek7bczlpz.pdf>
- Грушевенко Е., Капитонов С., Мельников Ю., Пердеро А., Шевелева Н., Сигиневич Д. Декарбонизация нефтегазовой отрасли: международный опыт и приоритеты России / под ред. Т. Митровой, И. Гайда. Сколково: Центр энерг. Моск. шк. упр. Сколково, 2021. 158 с.
- Данилова И. В., Рыжкова В. А., Корец М. А. Алгоритм автоматизированного картографирования современного состояния и динамики лесов на основе ГИС // Вестн. НГУ. Сер. «Информ. технол.». 2010. Т. 8. Вып. 4. С. 15–24.
- Корец М. А., Волокитина А. В. Программа для расчета пирологического описания лесоустроительных выделов. Свид-во о гос. рег. программы для ЭВМ № 2014660252 от 03.10.2014. М., 2014.
- Корец М. А., Волокитина А. В. Программа для прогноза распространения низового пожара. Свид-во о гос. рег. программы для ЭВМ № 2015661771 от 09.07.2015. М., 2015.
- Кузиков С. Использование Гугоките (гирокайта) для предотвращения лесных пожаров и мониторинга лесных массивов // Форум «Сильные идеи для нового времени-2022». СПб.: Росконгрес, 2022.
- Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учеб. пособ. для студентов вузов. М.: Аспект Пресс, 2004. 184 с.
- Лурия Е. А., Бурцев М. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Ефремов В. Ю., Кашицкий А. В., Мазуров А. А., Матвеев А. М., Суднева О. А., Сычугов И. Г., Толтин В. А., Уваров И. А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мо-

- нитинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
- Манович В. Н., Гук А. П., Алтынцева М. А.* Автоматизированное дешифрирование многоспектральных космических снимков высокого разрешения при решении задач лесоустройства и таксации леса // Лесн. хоз-во. 2013. № 2. С. 37–40.
- Мелехов И. С.* Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ, 1947. 60 с.
- Методика* оценки воздействия промышленных предприятий на окружающую среду по техногенным факторам. М.: ЭкоНИИпроект, 1992. 115 с.
- Платформа* NextGIS, 2023. <https://nextgis.ru/>
- Приказ* Минприроды от 01.12.2020 № 999 «Об утверждении требований к материалам оценки воздействия на окружающую среду». М.: Минприроды, 2020.
- Приказ* ОАО «НК «Роснефть» от 16.11.2009 № 574 «Политика компании в области устойчивого развития». М.: НК Роснефть, 2009.
- Приказ* Федерального агентства лесного хозяйства от 05.07.2011 № 287 «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды». М.: Федерал. агентство лесн. хоз-ва, 2011.
- Редькин А. Ю., Волокитина А. В.* Определение типов основных проводников горения в процессе лесоустройства // Хвойные бореал. зоны. 2014. Т. 32. № 3–4. С. 47–52.
- Софронов М. А., Волокитина А. В.* Методика пирологического обследования и описания лесных участков, пройденных пожарами. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. 71 с.
- Софронова А. В.* Картографирование изменений на лесных территориях под воздействием объектов нефтегазовой отрасли // Исследование компонентов лесных экосистем Сибири. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2011. С. 64–67.
- Софронова А. В., Волокитина А. В.* Методические рекомендации по проведению пирологической экспертизы на разных этапах формирования нефтегазовых комплексов // Передовые технологии и материалы будущего: сб. ст. IV Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2021», Минск, 9 декабря, 2021 г.: В 3 т. Минск: БГТУ, 2021. Т. 1. С. 269–272.
- Софронова А. В., Волокитина А. В., Софронова Т. М.* Применение технологии пирологической экспертизы для снижения пожарной опасности в районах нефтегазовых месторождений и повышения промышленной безопасности нефтегазовых объектов // Форум «Сильные идеи для нового времени – 2022». СПб: Росконгресс, 2022.
- Указ* Президента от 01.01.2018 № 2 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года». М.: Кремль, 2018.
- Указ* Президента от 15.06.2022 № 382 «О мерах по сокращению площади лесных пожаров в Российской Федерации». М.: Кремль, 2022.
- Хорошев А. В., Мерекалова К. А., Алещенко Г. М.* Полимасштабная организация межкомпонентных отношений в ландшафте // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 1. С. 26–36.
- Черненко Т. В., Левицкая Н. Н., Козлов Д. Н., Тихонова Е. В., Огуреева Г. Н., Пестерова О. А.* Оценка состояния и динамики биоразнообразия лесов Московской области с использованием наземных и дистанционных методов // Разнообразие и динамика лесных экосистем России. Кн. 1. Гл. 8 / Под ред. акад. А. С. Исаева. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2012. 461 с.
- Экологическая экспертиза.* Новосибирск: Ин-т геол. и минерал. им. В. С. Соболева СО РАН, 2023. <https://www.igm.nsc.ru/index.php/nauka/napravleniya-deyatelnosti/ekologicheskaya-ekspertiza>
- Энергопереход* // Neftegaz.ru, 2021. <https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/683119-energoperekhod/>

PYROLOGICAL EXPERTISE OF OIL AND GAS COMPLEXES

A. V. Sofronova¹, A. V. Volokitina²

¹ *Comprehensive School No. 6*

Leningradskiy Mikrorayon, 51, Sayanogorsk, Republic of Khakassia, 655602 Russian Federation

² *V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,*

Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch

Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

E-mail: avsofronova.rf@gmail.com, volokit@ksc.krasn.ru

The paper considers the urgency of the problem of flammability of sites for the location of oil and gas industry facilities and the need for pyrological expertise. For the first time in the Russian Federation, it is proposed to supplement the assessment of the impact on the environment of oil and gas complexes with the technology of pyrological expertise, developed at V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, and included in the Top-1000 list of the forum “Strong ideas for the new time-2022”. A proposal was made to supplement Clause 7.13.1.19 of the Order of the Ministry of Natural Resources dated December 1, 2020 № 999 “On approval of requirements for environmental impact assessment materials” with a fire-fighting arrangement of the territory, in accordance with the recommendations of the pyrological expertise. The concept of the pyrological expertise is given. The state of the issue on the assessment of natural fire danger in Russia and on the environmental policy of oil and gas companies is considered. To reduce the flammability of oil and gas fields, improve the fire safety of oil and gas facilities, better integrate Russian oil and gas companies into the energy transition process outlined by the Paris Agreement in 2015, and meet the requirements for industry decarbonization and ESG development, a complete review of corporate governance principles and available technologies is required, as well as shifting in mindset. The need to include vegetation fires, the number of which increases with the development of deposits, in the list of sources of greenhouse gases is noted. A review of materials and methods that can be used in the pyrological expertise is given. Guidelines have been developed for conducting the pyrological expertise based on a modern method for assessing fire hazard: making vegetation fuel maps and assessing the fire hazard of oil and gas facilities using the results of the Yurubcheno-Tokhomskoe field study as an example. The methodological recommendations presented in this article are based on many years of fundamental pyrological studies and the use of contemporary data for remote sensing of the Earth and geoinformation technologies. Carrying out a pyrological expertise by oil and gas companies will help reduce vegetation fires, and hence reduce greenhouse gas emissions, increase the investment attractiveness of companies and the ESG-rating.

Keywords: *assessment of fire hazard, vegetation fuel maps, GIS-technologies, ESG-rating of oil and gas companies.*

How to cite: *Sofronova A. V., Volokitina A. V. Pyrological expertise of oil and gas complexes // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 3. P. 3–14 (in Russian with English abstract and references).*