

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2025, Том 12, № 4 / 2025, Vol. 12, Iss. 4 <https://resources.today/issue-4-2025.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/33NZOR425.pdf>

DOI: 10.15862/33NZOR425 (<https://doi.org/10.15862/33NZOR425>)

1.6.20. Геоинформатика, картография (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Капустина, О. А. Геоинформационный метод оценки влияния разработки месторождений полезных ископаемых на сейсмический режим техно-природной системы / О. А. Капустина // Отходы и ресурсы. — 2025. — Т. 12. — № 4. — URL: <https://resources.today/PDF/33NZOR425.pdf>. DOI: 10.15862/33NZOR425.

For citation:

Kapustina O.A. Geoinformation method for assessing the impact of mineral deposit development on the seismic regime of a techno-natural system. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2025;12(4): 33NZOR425. Available at: <https://resources.today/PDF/33NZOR425.pdf>. DOI: 10.15862/33NZOR425. (In Russ., abstract in Eng.).

Работа выполнена в рамках государственной темы FUUG-2022-0005 «Разработка научных основ комплексного природопользования обеспечивающее устойчивое развитие природы с участием человека и с учётом его интересов на примере Южного Урала»

УДК 528.9:004

Капустина Оксана Александровна

ФГБУН «Оренбургский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук», Оренбург, Россия

Старший научный сотрудник

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: onica1@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8981-6599>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=531209

Геоинформационный метод оценки влияния разработки месторождений полезных ископаемых на сейсмический режим техно-природной системы

Аннотация. В настоящей работе предлагается геоинформационный метод для оценки влияния разработки месторождений углеводородов на сейсмический режим техно-природной системы путем определения количественной связи между параметрами добычи углеводородов и сейсмическими событиями, регистрируемых в районах разрабатываемых месторождений. Придерживаясь представления сейсмического режима техно-природной системы в пятимерном пространстве, автором в качестве параметра сейсмического режима введен комплексный параметр сейсмичности месторождения углеводородов, представляющий линейную комбинацию нормализованных показателей суммы выделившейся энергии и плотности сейсмических событий в пространственном объеме рассматриваемого месторождения за выбранный период времени. Для проведения исследования в условиях нефтегазоносного Южного Предуралья, где глубина регистрируемых сейсмических событий не превышает 10 км, вместо пространственного объема рассматривается площадная характеристика территории месторождения, заданного полигональной моделью. Построена матрица исследования, для которой рассчитаны парные корреляции между параметрами добычи углеводородов и комплексным показателем сейсмичности месторождения на примере Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения, которые визуализированы с помощью тепловой карты корреляции. Наиболее важными результатами

настоящего исследования являются рассчитанные высокие показатели парной корреляции Пирсона близкие к единице, которые позволили на основе полученной статистической связи методом машинного обучения без учителя выделить главные факторы режима разработки рассматриваемого месторождения, влияющие на комплексный показатель природно-техногенной сейсмичности. Построена регрессия главных компонент, в которой главные компоненты используются в качестве предикторов в регрессионной модели вместо исходных параметров разработки месторождения. Определено качество разработанной математической модели для оценки режима сейсмичности Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения путем расчета основной метрики коэффициента детерминации, который имеет достаточно высокое значение и составляет 0,88.

Ключевые слова: геоинформационный метод; пространственно-временные данные; техногенная сейсмичность; месторождения полезных ископаемых; корреляция; факторный анализ; регрессионный анализ; машинное обучение геоданных без учителя

Введение

Выявление закономерностей и зависимостей между процессами разработки месторождений и развитием сейсмичности по эмпирическим данным для платформенных территорий является актуальной задачей, решением которой занимаются многие ученые, как российские: В.Н. Опарин, В.В. Адушкин, В.Ф. Юшкин, В.П. Потапов [1–3]; С.Б. Турунтаев, Е.О. Слинькова, А.В. Коновалов, С.В. Ворохобина, О.Ю. Мельчаева [4; 5], Г.Г. Кочарян, А.М. Будков, С.Б. Кишкина, А.Н. Беседина [6–8], Ю.М. Нестеренко, М.Ю. Нестеренко [9], Ш.А. Мухамедиев, А.Г. Аронов, Т.И. Аронова [10], так и зарубежные, например, Doglioni С. [11], П.С. Долгий [12]. В некоторых работах предлагаются математические модели для количественной оценки влияния параметров разработки месторождений на их сейсмичность, построенные различными математическими методами (А.В. Павлова, М.В. Зарецкая, И.С. Телятников, В.В. Лозовой [13], Т.В. Верховланцева, Р.А. Дягилев, Т.В. Злобина [14–16]), применение которых предполагает использование средств, входящих в состав геоинформационных систем общего назначения [17] или специально разрабатываемых геоинформационных систем [13].

Для оценки сейсмичности месторождений углеводородов Южного Предуралья в настоящее время применяется специальная геоинформационная система, построенная исходя из идеи представления природно-техногенного сейсмического режима пятимерного пространства и применения геоинформационного подхода к решению задачи оценки сейсмичности районов добычи полезных ископаемых [18].

Цель настоящего исследования — разработать геоинформационный метод оценки влияния разработки месторождений углеводородов на сейсмический режим техно-природной системы путем введения количественного показателя их связи, применения специальную геоинформационную систему оценки сейсмического режима месторождений углеводородов Южного Предуралья.

Материалы и методы

Для проведения исследования в качестве исходной пространственной и пространственно-временной информации выступают геоданные о расположении месторождения, их геологической и тектонической структуре, наборы датасетов, в состав которых входят пространственные, временные компоненты, описываемые числовым и/или форматом дат, статистические данные о параметрах разработки и эксплуатации месторождения и результаты мониторинга

территории исследуемого месторождения углеводородов Южного Предуралья сейсмической сетью Нефтегаз-сейсмика, которые хранятся в объектно-реляционной базе геоданных.¹ Используя подсистему «Ввода и обработки геоданных», входящей в состав специальной геоинформационной системы оценки техногенного сейсмического режима, разработанной автором средствами объектно-ориентированного программирования, реализуется импорт необходимых для исследования данных из базы геоданных и проводится предобработка геоданных и их первичный анализ, включающий проверку данных на наличие ошибок, некорректных или невозможных значений (например, отрицательные величины глубин или неправильные форматы дат), выявление пропусков, удаление дубликатов, коррекцию аномальных значений координат и других параметров сейсмических событий, нормализацию исследуемых параметров [19].

В качестве параметров режима эксплуатации Оренбургского газоконденсатного месторождения рассматриваются следующие параметры:

- x_1 — средний дебит газ, тысяч м³/сутки;
- x_2 — средний дебит нестабильного конденсата, тонн;
- x_3 — средний дебит вода, м³/сутки;
- x_4 — годовая добыча газ сепарации, млрд м³;
- x_5 — годовая добыча нестабильного конденсата, миллион тонн;
- x_6 — годовая добыча вода, миллион м³;
- x_7 — накопленная добыча газ сепарации, млрд м³;
- x_8 — накопленная добыча нестабильного конденсата, миллион тонн;
- x_9 — накопленная добыча вода, млн м³;
- x_{10} -пластовое давление по залежи, Мпа;
- x_{11} — пластовое давление в зоне дренирования, Мпа;
- x_{12} — общее количество действующих скважин в течение года, единиц;
- x_{13} — количество действующих скважин в течение года с водой, единиц;
- x_{14} — коэффициент эксплуатации действующего фонда добывающих скважин, доли единиц;
- x_{15} — темп отбора от остаточных геологических запасов газа, %;
- x_{16} — степень выработки геологических запасов газа, %.

Исходя из гипотезы представления сейсмического режима техно-природной системы в пятимерном пространстве [18], целесообразно в качестве параметра сейсмического режима ввести комплексный параметр сейсмичности месторождения *Skomlex*, представляющий линейную комбинацию нормализованных показателей суммы выделившейся энергии и плотности сейсмических событий в пространственном объеме рассматриваемого месторождения за выбранный период времени. Известно, что глубина регистрируемых сейсмических событий для

¹ Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025622328 Российская Федерация. База геоданных для оценки геодинамического состояния месторождений полезных ископаемых Оренбургской области: заявл. 12.05.2025: опубл. 28.05.2025 / М.Ю. Нестеренко, О.А. Капустина, О.В. Антонова; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «ЭКОТЕХНОЛОГИИ». — EDN RROWCM.

исследуемых месторождений углеводородов Южного Предуралья не превышает 10 км [20], это позволяет ограничиться рассмотрением площадной характеристики территории месторождения и представить комплексный параметр сейсмичности месторождения в следующем виде (1).

$$S_{\text{komplex}}(t_i) = \frac{\alpha_{i1} \cdot \sum_{j=1}^{N_i} E_{ij} + \alpha_{i2} \cdot N_i}{S}, \quad (1)$$

где:

t_i — период времени, год;

S — площадь месторождения углеводородов, км²;

E_{ij} — выделившаяся энергия j — го сейсмического события, зарегистрированного на территории месторождения S в период времени t_i ;

N_i — количество сейсмических событий, зарегистрированных на территории месторождения S в период времени t_i ;

α_{i1}, α_{i2} — весовые коэффициенты, $\alpha_{i1} + \alpha_{i2} = 1$.

Введенный комплексный параметр сейсмического режима разрабатываемого месторождения углеводородов расширяет известный параметр сейсмичности в математической модели описания влияния природных и техногенных факторов на сейсмический режим, представленный в работах Р.А. Дягилева, Т.В. Верховланцевой и Т.В. Злобиной [14–16] и применяемый для оценки влияния горнотехнических факторов на техногенную сейсмичность в калийных рудниках.

Для определения количественной связи между параметрами разработки месторождения углеводородного сырья и регистрируемой сейсмичностью, описываемой математической моделью (1) рассчитывается матрица исследования, фрагмент которой представлен в таблице, элементами которой являются нормированные значения исследуемых параметров по годам, округленные до 1 знака после запятой.

Таблица

Фрагмент матрицы исследования

год	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	$Skomlex$
2013	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0,3	1	1	0	1
2014	0,8	0,4	0,9	0,8	0,4	0,7	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	0	0,8	0,8	0,3	0,6
2015	0,5	0,8	0,2	0,4	0,1	0,5	0,5	0,6	0,5	0,1	0,3	0	1	0,5	0,5	0,5	0
2016	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,3	0,8	0,7	0,8	0,3	0,1	0,4	0,8	0,1	0,3	0,8	0,4
2017	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0,7	0,8	0	0	1	0,2

Составлено автором

Результаты и обсуждение

Предлагается геоинформационный метод оценки влияния разработки месторождений углеводородов и твердых полезных ископаемых на сейсмический режим техно-природной системы на основе определения количественной связи между параметрами добычи углеводородов и сейсмическими событиями, который заключается в следующем:

1. Используя специальную геоинформационную систему оценки сейсмического режима в районах добычи углеводородов, на интерактивной карте выделяем область (полигон) исследуемого месторождения для анализа.
2. Для заданной области задаем период исследования и загружаем из базы геоданных основные показатели разработки месторождения, в частном случае для примера рассматриваем основную газоконденсатную залежь Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения.

3. Загружаем из базы геоданных в рассматриваемом временном отрезке зарегистрированные природно-техногенные сейсмические события, включая импульсы [21], произошедшие на территории месторождения и в его окрестностях, добавляя слой «Сейсмичность» на интерактивную карту, и рассчитываем количество сейсмособытий по годам, формируя вектор.
4. Определяем близость статистической связи между сейсмичностью месторождения и режимом его эксплуатации методом корреляционного анализа.

Для исследуемого месторождения рассчитана корреляционная матрица и выявлено наличие связи между параметрами добычи углеводородов за период с 1971 по 2018 гг. и комплексным показателем сейсмичности, учитывающим выделившуюся энергию природно-техногенных сейсмособытий, включая импульсы зарегистрированных с 2005 по 2018 гг., представленные на рисунке 1, подготовленным автором.

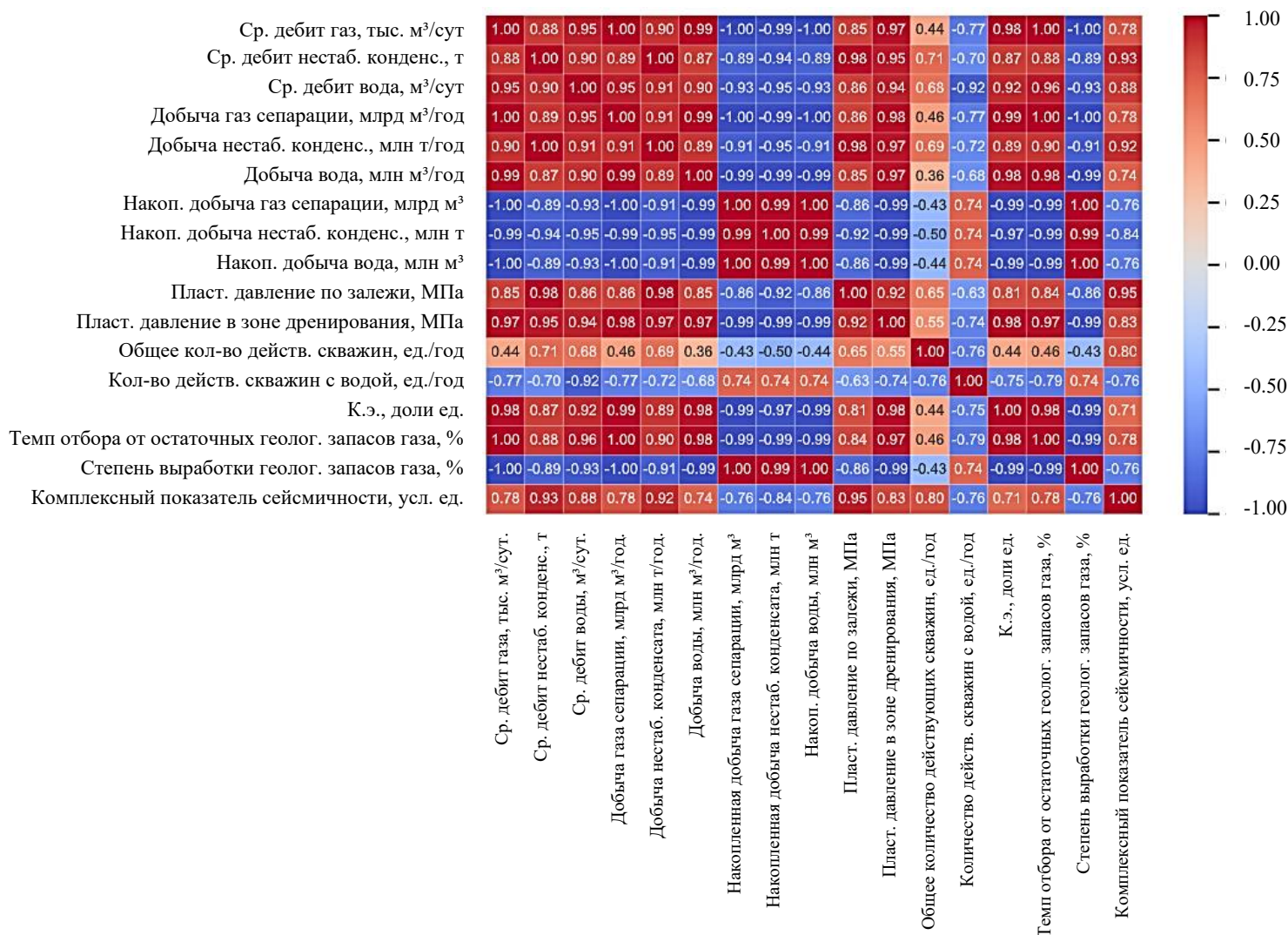


Рисунок 1. Тепловая карта корреляции параметров добычи углеводородов и сейсмичности на Оренбургского газоконденсатного месторождения (подготовлено автором)

Все исследуемые показатели разработки месторождения оказывают прямое или обратное влияние на его сейсмичность. Наиболее высокие значения прямой корреляционной связи отмечаются для параметров x_{10} — пластовое давление по залежи, Мпа (0,95), x_2 —

средний дебит нестабильного конденсата, тонн (0,93) и x_5 — годовая добыча нестабильного конденсата, миллион тонн (0,92). Отрицательные значения показателей, которые характеризуют обратную связь, отмечаются для параметров накопленная добыча газ сепарации, млрд м³; накопленная добыча нестабильного конденсата, млн.т.; накопленная добыча вода, млн м³, количество действующих скважин в течение года с водой, ед. и степень выработки геологических запасов газа, %, то есть при их увеличении снижается количество сейсмических событий.

В связи с чем, можно выделить главные факторы режима разработки месторождения, влияющие на его сейсмичность методом машинного обучения без учителя. Исключаем взаимно влияющие друг на друга признаки и сокращаем размерность признакового пространства методом главных компонент. В новом базисе основной вклад в вариабельность преобразованных факторов разработки месторождений, являющихся линейной комбинацией исходных признаков, оказывают первые две компоненты, которые обозначим PCA1 и PCA2, позволяющие сохранить 99 % дисперсии (рисунок 2, подготовленный автором), что позволяет уменьшить размерность пространства исходных признаков.

Наиболее влияющими на первую компоненту признаками являются: Накопленная добыча нестабильного конденсата, млн т, Пластовое давление в зоне дренирования, Мпа, Годовая добыча газ сепарации, млрд м³. На вторую компоненту наибольшее влияние оказывают признаки: Общее количество действующих скважин в течение года, ед., Количество действующих скважин в течение года с водой, ед. и Добыча воды, млн м³ в год.

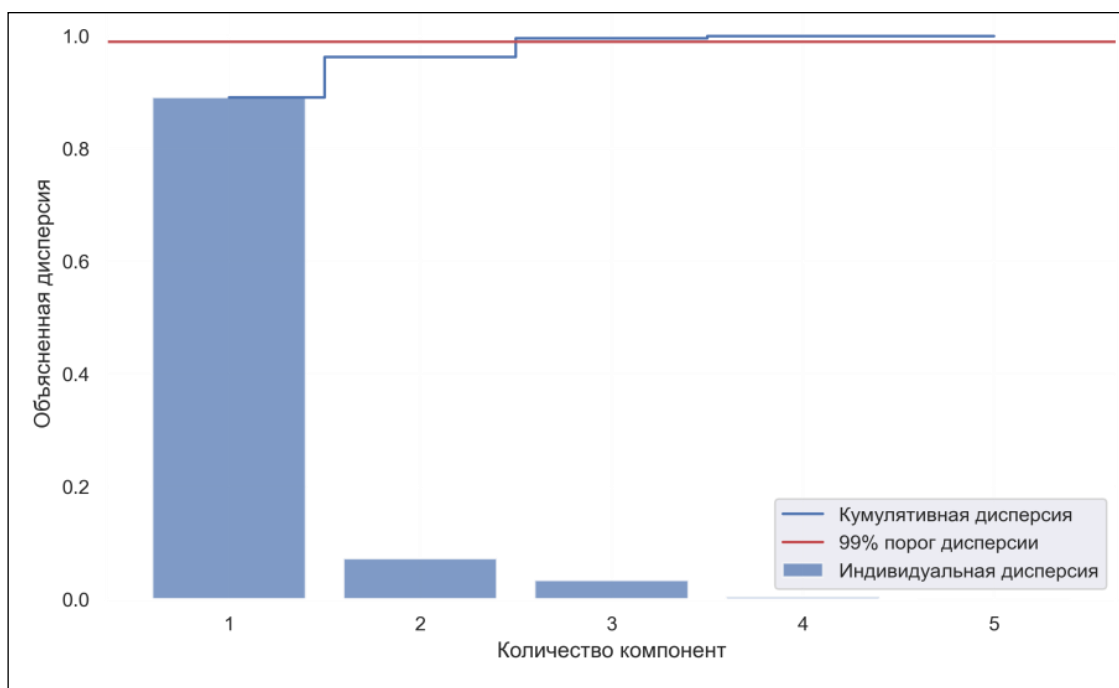


Рисунок 2. Анализ объяснённой дисперсии (подготовлен автором)

Построим регрессию главных компонент (2), в которой главные компоненты используются в качестве предикторов в регрессионной модели вместо исходных переменных.

$$Skomplex = 0,216 PCA1 - 0,35 PCA2 + 0,42. \quad (2)$$

Для определения качества построенной модели могут быть использованы метрики: средняя абсолютная ошибка, среднеквадратичная ошибка или коэффициент детерминации. Построенная математическая модель связи комплексного показателя сейсмичности имеет достаточно высокий коэффициент детерминации, который составляет 0,88.

Выводы

1. Разработан геоинформационный метод применения специальной геоинформационной системы оценки сейсмического режима месторождений полезных ископаемых, который позволяет:

- выгружать из базы геоданных пространственную информацию об исследуемом месторождении, представленного полигональной моделью в виде отдельного слоя, статистические данные, характеризующие режим его эксплуатации и слой с пространственно-временной информацией о сейсмических событиях;
- для выбранного полигона рассчитывать значения комплексного параметра сейсмичности и формировать матрицу исследования, кроме того, содержащую нормализованные значения параметров эксплуатации месторождения;
- определять наличие корреляционной связи, на основе которой выделять методом машинного обучения без учителя главные факторы;
- строить параметрическую модель прогнозирования сейсмичности рассматриваемого месторождения по параметрам его разработки для повышения эффективности управления и безопасности организационной системы эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

2. На основе представления сейсмического режима техно-природной системы в пятимерном пространстве, в качестве параметра сейсмического режима введен комплексный параметр сейсмичности месторождения углеводородов, представляющий линейную комбинацию нормализованных показателей суммы выделившейся энергии и плотности сейсмических событий в пространственном объеме рассматриваемого месторождения за выбранный период времени, непротиворечащий известным математическим моделям, позволяющий формализовать.

3. Применение геоинформационного метода оценки сейсмического режима месторождений полезных ископаемых для Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения позволило выявить наличие линейной связи между параметрами добычи углеводородов (пластовое давление в зоне дренирования, Мпа (0,99), пластовое давление по залежи, Мпа (0,95), средний дебит газ, тысяч м³/сутки (0,93), годовая добыча нестабильного конденсата, млн.т. (0,92)) на территории Оренбургской области и зарегистрированными природно-техногенными сейсмическими событиями, включая импульсы за весь период наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. О влиянии природно-климатических и техногенных факторов на развитие механо-эрозионных и сейсмоэмиссионных процессов в окрестностях угольных разрезов Кузбасса / В.Н. Опарин, В.В. Адушкин, В.Ф. Юшкин, В.П. Потапов — DOI 10.25018/0236-1493-2019-09-0-72-101 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2019. — № 9. — С. 72–101
2. Опарин В.Н., Потапов В.П. Развитие теории и методов создания динамических геоинформационных систем с вычислительным ядром оценивания параметров движений и напряженно-деформированного состояния земной коры по разнородным комплексным наблюдениям // Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2019. — Том II, Гл. 1.12. — С. 220–245.

3. Adushkin, V.V. Technogenic tectonic seismicity in Kuzbass / V.V. Adushkin — DOI 10.1016/j.rgg.2018.04.010. // Russian Geology and Geophysics. — 2018. — Т. 59, № 5. — С. 571–583 — EDN XXKFGX.
4. Турунтаев, С.Б. Сейсмичность в районе месторождений углеводородов шельфа о. Сахалин / С.Б. Турунтаев, Е.О. Слинькова, А.В. Коновалов // Триггерные эффекты в геосистемах: Материалы третьего Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16–19 июня 2015 года / под ред. В.В.Адушкин, Г.Г.Кочарян. — Москва: Издательство ГЕОС, 2015. — С. 39–48. — EDN WFTWRT.
5. Турунтаев, С.Б. Выявление техногенных изменений сейсмического режима при помощи методов нелинейной динамики / С.Б. Турунтаев, С.В. Ворохобина, О.Ю. Мельчаева // Физика Земли. — 2012. — № 3. — С. 52–65. — EDN OWENWT.
6. Кочарян, Г.Г. Об инициировании тектонических землетрясений при подземной отработке месторождений / Г.Г. Кочарян, А.М. Будков, С.Б. Кишкина — DOI 10.15372/FTPRPI20180405. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2018. — № 4. — С. 34–43 — EDN UZENKW.
7. Кочарян, Г.Г. Об инициировании тектонических землетрясений, вызванных открытыми горными работами / Г.Г. Кочарян, С.Б. Кишкина — DOI 10.15372/FTPRPI20180505. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2018. — № 5. — С. 45–53 — EDN YTOUYR.
8. Характеристики слабой сейсмичности, индуцированной горными работами на Коробковском месторождении Курской магнитной аномалии / А.Н. Беседина, С.Б. Кишкина, Г.Г. Кочарян [и др.] — DOI 10.15372/FTPRPI20200302. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2020. — № 3. — С. 12–24 — EDN CLFMWR.
9. Нестеренко, Ю.М. Влияние добычи углеводородов на геофизические процессы и сейсмичность в нефтегазоносном Южном Предуралье / Ю.М. Нестеренко, М.Ю. Нестеренко // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. — 2012. — № 1. — С. 8. — EDN RFECYR.
10. Мухамедиев, Ш.А. Тектонические напряжения и сейсмичность в районе Старобинского месторождения калийных солей / Ш.А. Мухамедиев, А.Г. Аронов, Т.И. Аронова // Литосфера. — 2014. — № 1(40). — С. 50–57. — EDN YUJKGL.
11. Doglioni C. A classification of induced seismicity / C. Doglioni — DOI: 10.1016/j.gsf.2017.11.015 // Geoscience Frontiers. — 2018. — Т. 9, № 6. — С. 1903–1909.
12. Долгий, П.С. ГИС-проект "Геодинамика Беларуси" / П.С. Долгий // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. — 2020. — № 16. — С. 8–15. — EDN IYQVVL.
13. Математическое моделирование естественной и наведенной сейсмичности в зоне промышленной добычи углеводородного сырья / А.В. Павлова, М.В. Зарецкая, И.С. Телятников, В.В. Лозовой — DOI 10.33285/2411-7013-2020-5(296)-30-35. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2020. — № 5(296). — С. 30–35 — EDN BSOLAY.

14. Верховланцева, Т.В. Количественная оценка влияния горнотехнических параметров обработки месторождения на сейсмический режим / Т.В. Верховланцева, Р.А. Дягилев // Триггерные эффекты в геосистемах: Материалы третьего Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16–19 июня 2015 года / под ред. В.В. Адушкин, Г.Г. Кочарян. — Москва: Издательство ГЕОС, 2015. — С. 214–221. — EDN WFTWXN.
15. Злобина, Т.В. Применение модели влияния горнотехнических параметров обработки при прогнозе сейсмической активности в калийных рудниках / Т.В. Злобина, Р.А. Дягилев // Геофизика. — 2018. — № 5. — С. 12–17. — EDN РОЕИНВ.
16. Злобина, Т.В. Верификация модели влияния горнотехнических факторов на техногенную сейсмичность в калийных рудниках / Т.В. Злобина, Р.А. Дягилев // Геофизика. — 2017. — № 5. — С. 64–69. — EDN ZVKXXR.
17. Верховланцева, Т.В. Применение ГИС-технологий для изучения влияния горнотехнических параметров на сейсмический режим калийных рудников / Т.В. Верховланцева, Р.А. Дягилев // Проблемы недропользования. — 2016. — № 2(9). — С. 19–25. — EDN WBFHXV.
18. Капустина, О.А. Оценка сейсмического режима месторождений углеводородов Оренбургской области / О.А. Капустина // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: Тезисы докладов IX Международного симпозиума, Бишкек, 24–29 июня 2024 года. — Бишкек: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, 2024. — С. 374. — EDN YGYIID.
19. Капустина, О.А. Первичный анализ пространственно-временных данных для оценки геодинамического состояния месторождений полезных ископаемых / О.А. Капустина, М.Ю. Нестеренко, О.В. Антонова — DOI: 10.15862/13INOR225 // Отходы и ресурсы. — 2025. — Т 12. — № 2. — URL: <https://resources.today/PDF/13INOR225.pdf>.
20. Нестеренко, М.Ю. Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья) / М.Ю. Нестеренко, Ю.М. Нестеренко, А.Г. Соколов. — Екатеринбург: УрО РАН, 2015. — 186 с.
21. Оренбургская региональная сеть “Нефтегаз-сейсмика” / М.Ю. Нестеренко, И.М. Алешин, А.Г. Гоев [и др.] — DOI 10.21455/si2023.2-1. // Сейсмические приборы. — 2023. — Т. 59, № 2. — С. 5–17.

Kapustina Oksana Aleksandrovna

Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

E-mail: onical@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8981-6599>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=531209

Geoinformation method for assessing the impact of mineral deposit development on the seismic regime of a techno-natural system

Abstract. This paper proposes a geoinformation method for assessing the impact of hydrocarbon field development on the seismic regime of a techno-natural system by determining the quantitative relationship between hydrocarbon production parameters and seismic events recorded in the areas of developed fields. Adhering to the concept of the seismic regime of a techno-natural system in five-dimensional space, the author introduces a complex parameter of hydrocarbon field seismicity as a seismic regime parameter. This parameter represents a linear combination of normalized indicators of the sum of released energy and the density of seismic events in the spatial volume of the field under consideration over a selected period of time. To conduct the study in the oil and gas-bearing Southern Cis-Urals, where the depth of recorded seismic events does not exceed 10 km, the areal characteristics of the field territory, defined by a polygonal model, are considered instead of the spatial volume. A study matrix was constructed for which pairwise correlations were calculated between hydrocarbon production parameters and a comprehensive seismicity indicator for the field using the Orenburg oil and gas condensate field as an example. These correlations were visualized using a correlation heat map. The most important results of this study are the calculated high Pearson pairwise correlation values close to unity. These correlations enabled the identification of the key factors affecting the comprehensive natural and man-made seismicity indicator based on the obtained statistical relationship using unsupervised machine learning. A principal component regression was constructed, in which the principal components were used as predictors in the regression model instead of the initial field development parameters. The quality of the developed mathematical model for assessing the seismicity regime of the Orenburg oil and gas condensate field was determined by calculating the primary metric, the determination coefficient, which has a relatively high value of 0,88.

Keywords: geoinformation method; spatiotemporal data; man-made seismicity; mineral deposits; correlation; factor analysis; regression analysis; unsupervised machine learning of geodata