

## ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗАПАДНО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРОУРАЛЬСКОГО БОКСИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Л.В. Некрасова

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В статье представлены исследования особенностей техногенных сейсмических процессов на примере Североуральского бокситового месторождения. На данном месторождении в течение более четверти века, с 1994 года, проводились непрерывные сейсмологические наблюдения. В результате были сформированы базы сейсмологических данных. Наличие таких баз делает этот горнодобывающий бассейн уникальным объектом для изучения особенностей сейсмического режима в условиях сильного техногенного воздействия на недра и для анализа возможного влияния различных природных факторов.

Работа посвящена исследованию связи солнечной активности, представленной рядом чисел Вольфа, с сейсмической активностью на Североуральском бокситовом месторождении, выраженной количеством динамических явлений и энергией, выделившейся при реализации данных сейсмических событий.

Были проанализированы более 7 тысяч самых крупных динамических явлений с энергией от 10 тыс. Дж до 1,26 млрд. Дж с 2005 по 2020 год. В результате исследований было выявлено, что реализация событий для Североуральского бокситового месторождения происходит по определенным временным законам. Выделены циклы активизации событий, очаги которых с высокой корреляционной связью реагируют на 11-летние циклы солнечной активности. Определены периоды времени наиболее высокой сейсмической активности для данного месторождения. Выявлена отрицательная корреляционная связь 11-летних циклов солнечной активности и сейсмической активности на Североуральском бокситовом месторождении.

**Ключевые слова:** сейсмичность, структура сейсмического процесса, солнечная активность, 11-летний цикл солнечной активности, 11-летний цикл сейсмической активности, глобальные природные процессы, Западно-Уральский регион, Северо-Уральское бокситовое месторождение.

В первой половине XIX века астроном-любитель Генрих Швабе обнаружил периодичность в количестве видимых пятен на диске Солнца. Это открытие вызвало большой интерес в научном мире.

В середине XIX в. астроном Рудольф Вольф организовал первую службу Солнца в Цюрихе. В результате систематических наблюдений за Солнцем Вольф вывел индекс солнечной активности по пятнам на Солнце, в настоящее время названный числами Вольфа, и изучил его свойства. Так был открыт 11-летний цикл солнечной активности, который варьируется от 9 до 14 лет и в среднем составляет около 11,2 года. С тех пор наблюдения за Солнцем проводятся регулярно. Позже были обнаружены и другие циклы активности Солнца: 22-летний, вековой и т.д. После этого Вольф выдвинул гипотезу, что солнечная активность вызывается приливным воздействием планет на Солнце [6]. Он также предположил [6], что активизация пятнообразовательной деятельности Солнца может влиять на интенсивность сейсмичности Земли.

В начале XX века русский ученый и мыслитель Александр Чижевский установил, что все земное пульсирует в ритме Солнца и доказал зависимость биологических и социальных процессов на Земле от цикла колебаний солнечной активности. В своем труде Чижевский проанализировал большой исторический материал и обнаружил корреляцию максимумов солнечной активности и массовых катаклизмов на Земле. Отсюда сделан вывод о влиянии 11-летнего цикла солнечной активности на климатические и социальные процессы на Земле. Чижевский установил, что в период по-

вышенной солнечной активности на Земле происходят войны, революции, стихийные бедствия, катастрофы, эпидемии, увеличивается интенсивность роста бактерий («эффект Чижевского-Вельхова», 1935).

Также он отмечал, что периодическое действие Солнца на Землю приписывалось обычно пятнам, но оно может происходить от солнечной атмосферы, состояние которой подвержено тем же периодам.

Чижевский писал, что Солнце, Луна, планеты и бесконечное число небесных тел связаны с Землей невидимыми узами. Движение Земли управляется силами тяготения, которые вызывают в воздушной, жидкой и твердой оболочках нашей планеты ряд деформаций, заставляют их пульсировать, производят приливы. Положение планет в солнечной системе влияет на распределение и напряженность электрических и магнитных сил Земли. Возникает вопрос: какие причины создают эту общую периодичность солнечной деятельности? Целый ряд астрономов придерживается той точки зрения, что, в то время как причину возникновения всех солнечных феноменов следует искать внутри Солнца, распределение их во времени и на поверхности светила можно приписать влиянию планет. Действительно, ряд исследователей, такие как Э.Френкель и Моундер, нашли в солнечной деятельности периоды обращения некоторых планет. Можно считать, что Солнце является чутким прибором, отзывающимся на все изменения поля тяготения вследствие перемещения планет в пространстве [1, 2, 3, 4].

Многие исследователи продолжили развивать приливную гипотезу солнечной активности [7-11]. В частности, Браун [7] предложил гипотезу о происхождении цикличности солнечной активности, по которой изменение активности происходит благодаря вихревым движениям в атмосфере Солнца, вызванным планетными приливными волнами.

В настоящее время обнаружены корреляции между индексами солнечной активности и планетными конфигурациями [5]. Получен планетный индекс солнечной активности, который отражает линейные конфигурации трех планет – Венеры, Земли и Юпитера. Этот индекс описывает 11-летний цикл солнечной активности. Параметр рассчитан для разных сочетаний планет, и только для планет Венера, Земля и Юпитер индекс их линейных конфигураций дает 11-летний цикл и хорошее соответствие с солнечной активностью. Каждые 11,07 лет Солнце, Венера, Земля и Юпитер выстраиваются на одной линии, наблюдается цикл соединения или оппозиции трех планет. Отметим здесь следующее. Высота прилива на Солнце от планет, если прилив, создаваемый Землей принять за единицу, составляет: Меркурий – 0.96, Венера – 2.16, Земля – 1, Марс – 0.03, Юпитер – 2.26, Сатурн – 0.109, Уран – 0.0011, Нептун – 0.00064. Из этих данных видно, что наибольшее воздействие на Солнце оказывают планеты Венера, Земля и Юпитер, поскольку только эти три планеты образуют 11-летние линейные конфигурации с максимальным гравитационным воздействием на Солнце [5].

Современные ученые задумались над тем, как давно существуют 11-летние циклы солнечной активности и могут ли они меняться в принципе. Совсем недавно, в 2016 году, немецкие геологи нашли первые свидетельства того, что 11-летний цикл не менялся уже почти 300 миллионов лет. Цикл прослеживается на многие тысячелетия в прошлом благодаря изучению древнего льда полярных шапок и изотопного состава пород в земной коре. Это заставило ученых задуматься о том, что «дирижирует» циклами активности и почему они почти не поменялись за столь продолжительное время.

В 2016-2021 годах Франк Стефани (Frank Stefani) и Том Вейер (Tom Weier) из Центра имени Гельмгольца в Дрездене (Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf,

HZDR), а также Родион Степанов из Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) доказали [12], что приливные силы, действующие со стороны трех планет – Юпитера, Венеры и Земли – влияют на цикл солнечной активности. Они внесли в классическую модель солнечного динамо влияние гравитации Юпитера, Венеры и Земли, а также Сатурна. Стефани, Вейер и Степанов считают, что на активность Солнца могут непосредственно влиять приливные силы этих планет. К такому выводу они пришли при изучении магнитного поля нашей звезды. Его природа до сих пор представляет загадку.

Стефани, Вейер и Степанов [12] сравнили наблюдения проявлений солнечной активности – таких как солнечные пятна, солнечные вспышки и корональные извержения масс – за последнюю тысячу лет на протяжении 90 солнечных циклов с конфигурацией планет, чтобы показать существование корреляции. Это новое исследование демонстрирует связь между приливными силами, действующими со стороны Венеры, Земли и Юпитера на солнечную плазму, и периодом солнечной магнитной активности. Ученые зафиксировали высочайший уровень согласованности [12]. Таким образом, астрофизики предположили, что гравитационные взаимодействия между этими тремя планетами могли особым образом влиять на поведение недр Солнца, подобно тому, как Луна «дирижирует» колебаниями в уровне океанов Земли.

За прошедшие полтора столетия выполнено большое количество работ, авторы которых приходят к выводу о существовании корреляции между сейсмической активностью Земли и активностью Солнца. Результаты исследований влияния солнечной активности на сейсмичность Земли зависят от используемых параметров и длительности рядов наблюдений.

Существуют противоречия в знаке корреляции между изменениями солнечной и сейсмической активности. Поэтому необходимо дальнейшее накопление статистического материала о закономерностях в вариациях солнечной и сейсмической активности Земли, чему и посвящена данная работа.

Нами выполнены исследования особенностей техногенных сейсмических процессов на различных месторождениях, расположенных в Уральском регионе, и влияние различных глобальных природных факторов на сейсмичность [15,16]. Рассмотрены результаты анализа на примере Североуральского бокситового месторождения.

На данном месторождении в течение более четверти века, с 1994 года, проводились непрерывные сейсмологические наблюдения. В результате них были сформированы уникальные базы сейсмологических данных.

Наличие таких баз делает горнодобывающий бассейн уникальным объектом для изучения особенностей сейсмического режима в условиях сильного техногенного воздействия на недра и для анализа возможного влияния различных природных факторов.

Были проанализированы данные о количестве динамических явлений  $N$  на Североуральском бокситовом месторождении и о сейсмической энергии  $W$ , выделившейся из очагов данных событий, а также значения среднемесячной сейсмической энергии  $W/N$  за данный период. Полученные результаты сопоставлены с циклами солнечной активности, которые характеризуются числами Вольфа.

На Североуральском бокситовом месторождении за 27 летний период с 1994 по 2020 годы зарегистрировано более 8 тысяч крупных динамических явления с энергией от 10 тыс. Дж до 1,26 млрд. Дж.

С 1994 по 2004 годы на месторождении происходило менее 100 динамических явлений в год. За весь период отмечено всего 945 событий.

С 2005 по 2008 годы наблюдалось от 161 до 229 динамических явлений. Резкое возрастание сейсмической активности отмечено с 2009 года, когда регистрировалось от 386 до 924 динамических явлений. Максимальное количество из них имели место в 2012 году – 728 событий, 2016 году – 924 события, 2018 году – 595 событий, 2019 году – 546 событий и 2020 году – 724 события в течение года.

Нами был проведен анализ 7177 динамических явлений с 2005 по 2020 годы, в период времени, когда количество их в течение каждого года было равномерно высоким.

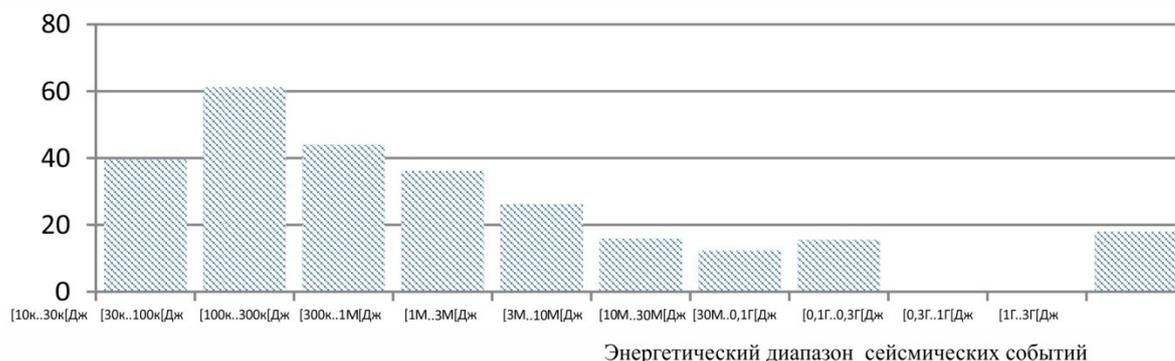
Вся сейсмичность разделена на две составляющие – «условно природная» и «условно техногенная». Всплески сейсмичности в течение суток, связанные с трехсменной работой на СУБР, положены в основу разделения сейсмоактивности на два компонента. События, приуроченные к максимумам, отнесены к «условно техногенным», а события, произошедшие в оставшееся время, – к «условно природным».

На основании непрерывных многолетних каталогов сейсмических событий был проведен детальный анализ структуры сейсмических процессов на территории месторождения на различных масштабных уровнях.

В результате проведенных исследований нами было выявлено, что все динамические явления Североуральского бокситового месторождения, лежащие в диапазоне от 30 тыс. до 100 тыс. Дж (а это 2361 событие) реагируют на 11-летние циклы солнечной активности.

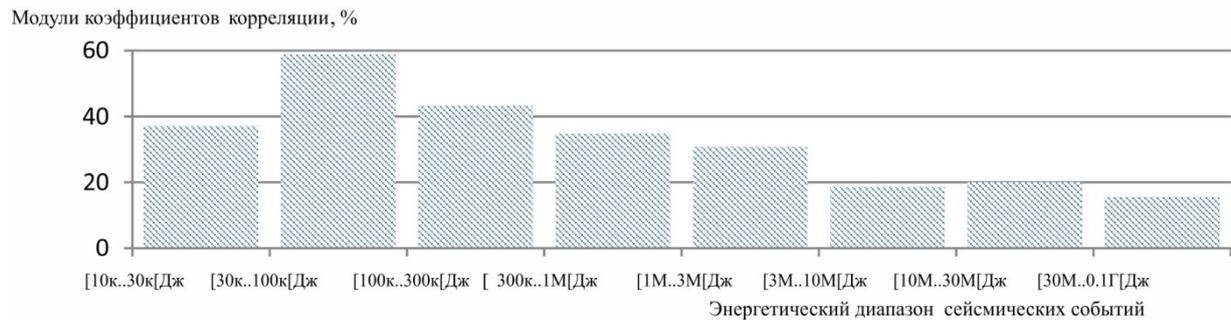
Максимальный коэффициент корреляций  $-61,1\%$  отмечен между среднемесячными значениями чисел Вольфа и количеством всех динамических явлений  $N$  в течение месяца (рис. 1, рис. 4). Получен также коэффициент корреляции  $-59,7\%$  между среднемесячными значениями чисел Вольфа и суммарной сейсмической энергией  $W$ , выделенной в течение месяца, для всех динамических явлений Североуральского бокситового месторождения. Распределение коэффициентов корреляции очень близко с представленным на рис. 1.

Модули коэффициентов корреляции, %



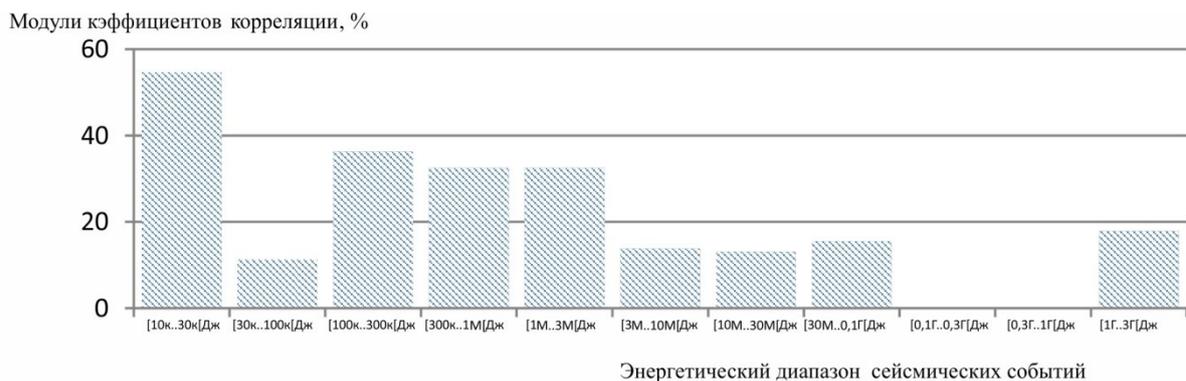
**Рис. 1.** Модули коэффициентов корреляции индекса солнечной активности (чисел Вольфа) и количества динамических явлений  $N$  Североуральского бокситового месторождения за 2005-2020 гг.

Причем события, отнесенные к «условно природным», лучше реагируют на 11-летние циклы солнечной активности, чем события, отнесенные к «условно техногенным». Для «условно природной» составляющей сейсмичности коэффициенты корреляции значительно выше, и равны  $-58,8\%$  для количества событий  $N$  и  $-58,9\%$  для суммарной сейсмической энергии  $W$  (рис. 2, рис. 5). Тогда как для «техногенной» составляющей они снижены до  $-49,7\%$  и  $-49\%$ , соответственно для  $N$  и  $W$ .

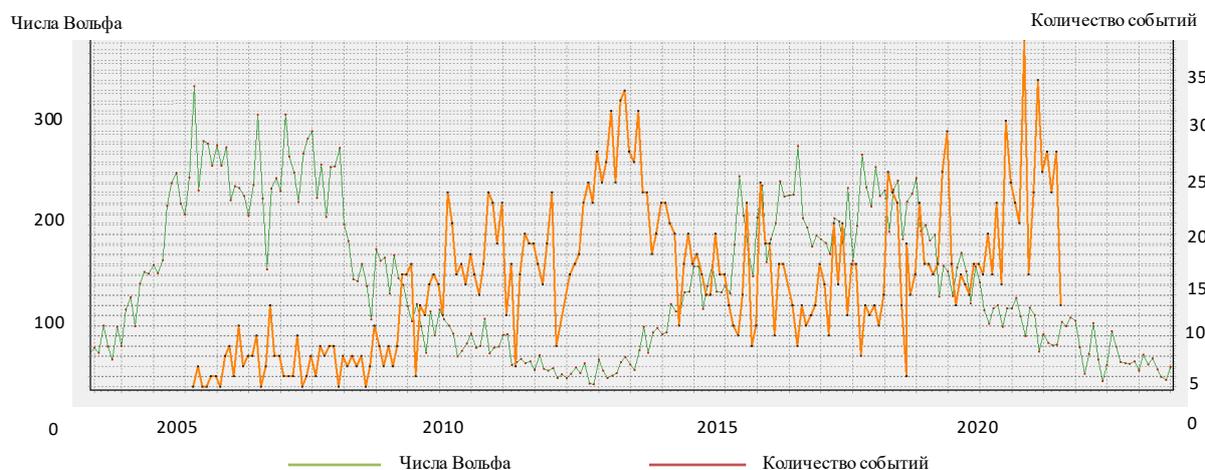


**Рис. 2.** Модули коэффициентов корреляции индекса солнечной активности (чисел Вольфа) и количества «условно природных» динамических явлений N Североуральского бокситового месторождения за 2005-2020 гг.

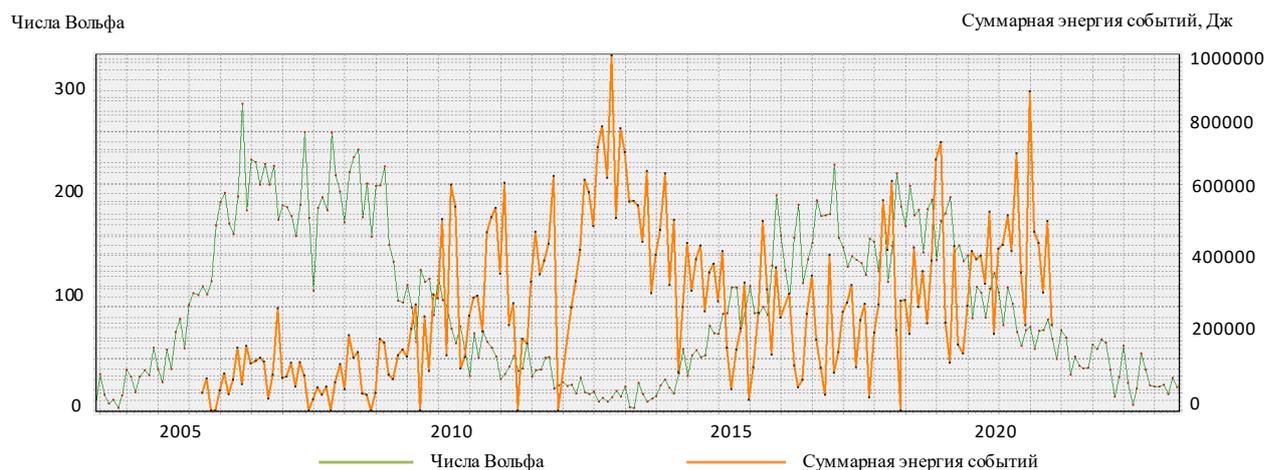
По средней сейсмической энергии  $W/N$ , выделенной в течение месяца, отмечено, что наиболее реагируют на 11-летние циклы солнечной активности динамические явления, относящиеся к энергетическому диапазону от 10 тыс. Дж до 30 тыс. Дж. Это самая многочисленная группа динамических явлений Североуральского бокситового месторождения. В данном энергетическом диапазоне насчитывается 3309 динамических явлений из всех произошедших с 2005 по 2020 год. Коэффициент корреляции составляет  $-54,6\%$  (рис. 3).



**Рис. 3.** Модули коэффициентов корреляции индекса солнечной активности (чисел Вольфа) и средней выделенной энергии  $W/N$  динамических явлений Североуральского бокситового месторождения за 2005-2020 гг.



**Рис. 4.** Распределение ежемесячного количества динамических явлений N с 2005 по 2020 годы на Североуральском бокситовом месторождении с энергией от 30 000 Дж до 100 000 Дж и индекс солнечной активности (числа Вольфа)



**Рис. 5.** Распределение суммарной среднемесячной энергии  $W$  «условно природных» динамических явлений Североуральского бокситового от 30 000 Дж до 100 000 Дж с 2005 по 2020 годы и индекс солнечной активности (числа Вольфа)

В результате анализа можно сделать выводы о том, что 11-летние циклы сейсмической активности существуют в реализации крупных динамических явлений Североуральского бокситового месторождения.

Наилучшим образом 11-летние циклы сейсмической активности проявляются для динамических явлений Североуральского бокситового месторождения в диапазоне от 30 тыс. Дж до 100 тыс. Дж. Для условно «природной» составляющей сейсмичности в данном диапазоне 11-ти летние циклы проявляются значительно лучше, чем для «условно техногенной», как по количеству событий  $N$ , так и по суммарной выделенной сейсмической энергии  $W$ .

Для динамических явлений Североуральского бокситового месторождения в диапазоне от 10 тыс. Дж до 30 тыс. Дж 11-летние циклы проявляются в средней сейсмической энергии  $W/N$ , выделенной в течение месяца. Оба диапазона динамических явлений представлены длинными рядами непрерывно регистрируемых сейсмических событий.

Исследуя закономерности в вариациях солнечной и сейсмической активности на Североуральском бокситовом месторождении, мы пришли к выводу, что в условиях данного месторождения между ними прослеживается уверенная корреляционная связь. На Североуральском бокситовом месторождении существуют 11-ти летние циклы сейсмической активности, которые имеют отрицательную корреляцию с циклами солнечной активности, то есть с количеством солнечных пятен – числом Вольфа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чижевский А.Л. Космический пульс жизни. Земля в объятиях Солнца. Гелиотараксия. – М.: Мысль, 1995. – 766 с.: ил.
2. Чижевский А.Л. Земля и Космос. Земное эхо космических бурь. – М.: Альма Матер, 2013. – С. 59-60.
3. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. – М.: Мысль, 1973. – 347 с.: ил.
4. Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. – М.: Мысль, 1976. – 367 с.: ил.
5. Охлопков В.П. 11-летний цикл солнечной активности и конфигурации планет // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия. – 2014. – № 3. – С. 50-55.
6. Wolf R. // Astr. Mittheilungen. – 1859. – V. 8. – P. 183.
7. Brown E.W. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. – 1900. – V. 60. – P. 599.
8. Шостакович В.Б. 1. Температурная инверсия и роль ветра для климата Восточной Сибири. 2. Климат Верхоянска. 3. Температура рек Восточной Сибири. 4. Климатические условия существования вечной мерзлоты почвы. – Иркутск: Тип. Изд-ва «Власть труда», 1928. – С. 81-124. – (Тр. Иркутской магнитной и метеорологической обсерватории).

9. Malberet J. // *L'Astronomie*. – 1925. – V. 39. – P. 503.
10. Clayton H.H. // *Smith. Misc. Coll.* – 1947. – V.106. – Publ. 3870. – P. 1.
11. Condon J.J., Schmidt R.R. Planetary tides and sunspot cycles // *Solar Physics*. – 1975. – V. 42, № 2. – P. 529-532.
12. Stefani F., Stepanov R., Weier T. Shaken and Stirred: When Bond Meets Suess–de Vries and Gnevyshev–Ohl. // *Solar Physics*. – 2021. – V. 296, № 6. – Номер статьи 88. – DOI: 10.1007/s11207-021-01822-4.
13. Shlien S. Earthquake – tide correlation // *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*. – 1972. – V. 28, № 1. – P. 27-34.
14. Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. – М.: ОИФЗ РАН, 1996. – С. 142-143.
15. Некрасова Л.В. Сейсмическая активность Западно-Уральского региона и сезонные вариации скорости вращения Земли // *Горное эхо*. – 2020. – № 4 (81). – С. 63-70. – DOI: 10.7242/echo.2020.4.13.
16. Некрасова Л.В. Ротационный режим Земли и сезонные особенности техногенных сейсмических процессов Уральского региона // *Горное эхо*. – 2019. – № 2 (75). – С. 71-74. – DOI: 10.7242/echo.2019.2.17.

УДК 550.8.052

DOI:10.7242/echo.2021.3.10

## МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

П.Н. Новикова

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В статье обсуждаются основные моменты применения методов интеллектуального анализа в области геологоразведки. Показаны основные этапы обучения моделей прогнозирования. Приводится пример применения методов машинного анализа для задачи классификации динамической физико-геологической модели: дерево решений, случайный лес и градиентный бустинг. Показаны результаты автоматической классификации данных.

**Ключевые слова:** машинное обучение, прогнозирование, классификация, деревья решений, физико-геологическая модель.

Методы интеллектуального анализа, связанные с поисками оптимальных решений, в явном и неявном виде давно используются на всех этапах геологоразведочного процесса: от проектирования работ до собственно интерпретации данных. При этом всегда стояла задача обработки существенных массивов данных, особенно при комплексировании различных поисковых методов.

На данный момент сформировано целое направление – машинное обучение, позволяющее автоматически выявлять многомерные закономерности в больших объемах данных, с помощью которых в дальнейшем возможно анализировать существующую информацию, принимать решения, а также выполнять прогнозы по новым наборам данных на основе предложенных моделей.

Современные модели прогнозирования хорошо адаптированы под информацию, которая может включать в себя не только числовые переменные, но и категориальные и бинарные переменные. Также машинное обучение успешно работает с графическими представлениями данных. Такая особенность является большим преимуществом при работе с разнородной геолого-геофизической информацией.

Ниже приведем процесс машинного обучения, который обычно состоит из следующих этапов:

- 1) сбор и подготовка данных, их проверка, обнаружение нехарактерных значений, поиск скрытых закономерностей между признаками, а также снижение размерности исходного набора данных;