

## Научная статья

УДК 551.58, 551.590.21

DOI: 10/24412/2658-4255-2023-1-13-19



EDN: BVXTZJ

## Для цитирования:

Мискевич И.В., Котова Е.И.  
Оценка возможности прогнозирования экстремумов гидрометеорологических параметров с помощью индекса солнечной активности // Российская Арктика. 2023. Том 5(1). С. 13–19  
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-13-19>

Получена: 30.01.2023  
Принята: 16.03.2023  
Опубликована: 30.03.2023

## For citation:

Miskevich I.V., Kotova E.I.  
Assessment of the possibility of forecasting hydrometeorological extremes using the solar activity index // Russian Arctic, 2023; Vol 5(1): p.p. 13-19. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-13-19>

Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWE-2021-0015 «Экстремальные опасные явления, связанные с Мировым океаном».



## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМУМОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ПОМОЩЬЮ ИНДЕКСА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.В. Мискевич<sup>1,2</sup> , Е.И. Котова<sup>1,2,\*</sup> <sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия<sup>2</sup> Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, Архангельск, РоссияE-mail: \*[ecopp@yandex.ru](mailto:ecopp@yandex.ru)

### Аннотация

В работе приведены результаты исследований корреляционных полей чисел Вольфа и гидрометеорологических параметров (температура воздуха, воды, годовая сумма осадков, высота снежного покрова) для ряда пунктов в западном секторе российской Арктики (Норильск, Индига, Унский Маяк, Холмогоры). Числа Вольфа используются в качестве индикатора солнечной активности. На диаграмме рассеяния для каждого интервала чисел Вольфа, протяженностью 25 единиц, определяется повторяемость искомого экстремума. Корреляционные поля имеют квазитреугольную форму или комбинацию квазипрямоугольника и треугольника. Наиболее высокая вероятность появления геоэкологических аномалий наблюдается в диапазоне чисел Вольфа 0-125. При дальнейшем увеличении значений вероятность наступления экстремального значения заметно снижается. Под геоэкологическими аномалиями в данной случае авторы подразумевают природные события на поверхности Земли с повторяемостью менее 10%, которые могут повлечь за собой катастрофические последствия для экосистем, её отдельных районов или локальных зон. Для хозяйственной деятельности, имеющей риски возникновения аварийных ситуаций, вследствие влияния гидрометеорологических процессов, наиболее «спокойные» годы характерны для периода максимальной солнечной активности, наиболее «тревожные» годы – для периода минимальной солнечной активности. При наличии нелинейной конфигурации границ диаграмм рассеяния солнечно-земных связей можно использовать одномерные регрессионные модели при предварительной линейаризации таких связей. В этом случае достоверность определения погрешности прогнозных расчетов увеличивается. Предложенный статистический анализ корреляционных полей, разделенных на определенные интервалы солнечной активности, позволяет в ряде ситуаций получать прогнозы гидрометеорологических экстремумов, способных сформировать геоэкологические аномалии. Метод может быть использован для уточнения долгосрочных гидрометеорологических и экологических прогнозов. Кроме того, он может быть использован в качестве альтернативного способа выявления возможности проявления геоэкологических аномалий.

**Ключевые слова:** геоэкология, аномалия, Солнце, числа Вольфа, гидрометеорология, Арктика, корреляция, регрессия

## ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF FORECASTING HYDROMETEOROLOGICAL EXTREMES USING THE SOLAR ACTIVITY INDEX

I.V. Miskevich<sup>1,2</sup> , E.I. Kotova<sup>1,2,\*</sup> <sup>1</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia<sup>2</sup> Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russiae-mail: \*[ecopp@yandex.ru](mailto:ecopp@yandex.ru)

### Abstract

The paper presents the results of research of correlation fields of the relationship between Wolf number and hydrometeorological parameters (air and water temperature, annual precipitation, snow cover height) for a number of points in the western sector of the Russian Arctic (Norilsk, Indiga, Unsky Mayak, Kholmogory). Wolf numbers are used as an indicator of solar activity. It is proposed to determine the recurrence of the sought extremum on the scattering diagram for each interval of Wolf numbers with a length of 25 units. Correlation fields have a quasi-triangular shape or a combination of a quasi-rectangle and a triangle. The highest probability of geocological anomalies is observed in the range of Wolf numbers "0-125". At the further increase of values probability appreciably decreases. Under geocological anomalies in this case the authors mean natural events on the surface of the Earth with a frequency of less than 10%, which can entail disastrous consequences for ecosystems, its individual regions or local zones. For economic activity, which has risks of emergency situations due to the influence of hydrometeorological processes, the most «calm» years are typical for the period of maximum solar activity, the most «disturbing» years are typical for the period of minimum solar activity. In the presence of nonlinear configuration of scattering diagram boundaries in the plots of solar-terrestrial relations, we can use one-dimensional regression models with preliminary linearization of such relations. In this case, the reliability of determining the error of the predictions increases. Statistical analysis of correlation fields divided on certain intervals of solar activity allows obtaining forecasts of hydrometeorological extremes capable of forming geocological anomalies in a number of situations. The method can be used for specifying longterm hydrometeorological and ecological forecasts. This approach can be used as an alternative way of detecting geocological anomalies.

**Keywords:** geocology, anomaly, Sun, Wolf numbers, hydrometeorology, Arctic, correlation, regression

---

### Введение

Наличие тесной связи солнечной активности с гидрометеорологическими и другими природными процессами на Земле является дискуссионной темой. Есть мнение, что не существует высокой и устойчивой корреляции между ними, пригодной для общепланетарного ведения прикладных прогнозных расчетов с высокой достоверностью [1]. В тоже время имеются отдельные успехи в этой области, но они касаются только локальных районов и конкретных природных процессов с привязкой к солнечной активности [2, 3]. Данная ситуация обусловлена большой «зашумленностью» солнечно-земных связей и зависимостью природных процессов от очень большого количества влияющих земных факторов на фоне доминирования нелинейного характера связей между различными событиями. Тем не менее, в ряде исследований зафиксирована достаточно высокая вероятность наступления определенного природного события на конкретном отрезке циклической изменчивости солнечной активности. Это позволяет обратиться к более детальному статистическому анализу корреляционных полей солнечно-земных связей.

Цель работы заключалась в оценке возможности использования метода статистического анализа корреляционных полей, отражающих связь солнечной активности с гидрометеорологическими характеристиками, для прогнозирования их экстремальных значений, которые способны генерировать геоэкологические аномалии.

Под геоэкологическими аномалиями в данной статье авторы подразумевают природные события редкой повторяемости (менее 10%) на поверхности Земли, которые могут повлечь за собой катастрофические последствия для экосистем, её отдельных районов или локальных зон. Этот термин не является стандартным (устоявшимся), но он подчеркивает суть негативного события, которое является не типичным для сложившихся за многие годы связей природных и техногенных (антропогенных) процессов. Здесь необходимо подчеркнуть, что в отсутствие общепринятых количественных критериев величина 10% принята авторами применительно к условиям рассматриваемой задачи.

В первую очередь, это касается гидрометеорологических процессов, способных разрушить различные промышленные объекты или иным способом повлиять на их

работу, что, в конечном счете, приводит к масштабному загрязнению окружающей среды и (или) к массовой гибели охраняемых представителей флоры и фауны. Например, аномально жаркое лето в условиях Арктики способно вызвать деформации фундаментов строений на объектах хранения токсических веществ, их разрушение и последующее попадание таких веществ в окружающую среду. Очень высокая величина влагозапаса снежного покрова в сочетании с очень жаркой весной способна вызвать на северных реках паводок, который может затопить территории расположения вышеупомянутых объектов и вызвать высокое загрязнение (до 100 ПДК и более) поверхностных вод. Резкое похолодание температуры воды осенью способно спровоцировать очень быстрое образование льда на портовой акватории и в сочетании со штормовыми условиями негативно повлиять на операции по разгрузке (погрузке) судов, в том числе, повлекшее за собой значительное загрязнение морских вод.

Следует также заметить, что возникновение гидрометеорологических экстремумов редкой повторяемости может вызвать геоэкологические аномалии природного генезиса. К ним, например можно отнести замор лосевых рыб в тундровых реках и озерах при их аномальном прогреве (до 23-25°C и выше) в летний период.

При рассмотрении факторов, пригодных для прогнозирования геоэкологических аномалий, сразу обращает на себя внимание солнечная активность. Это параметр, с одной стороны, не зависит от сложных процессов, происходящих в биосфере и геосфере Земли, с другой стороны, активность Солнца полностью определяет возможность существования биосферы нашей планеты [4].

В качестве индикатора солнечной активности обычно применяют числа Вольфа. Это числовой показатель, формируемый количеством солнечных пятен на рассматриваемой звезде. В колебаниях данного параметра наиболее отчетливо выделяется одиннадцатилетний цикл.

В результате анализа его временных рядов установлено, что цикличность солнечной активности является суперпозицией, по крайней мере, трех основных составляющих: 1) одиннадцатилетней (64% дисперсии исходного ряда), 2) вековой (18% дисперсии исходного ряда), 3) квазидвухлетней (11% дисперсии исходного ряда) [5].

Статистический анализ корреляционных полей солнечно-земных связей был использован авторами ранее в работе, посвященной исследованиям зависимости экстремально высоких весенних уровней воды в дельте р. Северная Двина от изменчивости чисел Вольфа [6]. Было выявлено, что максимальная вероятность его появления наблюдается в диапазоне чисел Вольфа 101–125. При более высоких значениях чисел Вольфа наблюдалась линейная тенденция к снижению вероятности появления экстремально высоких уровней до нулевого значения.

В данной статье для того, чтобы оценить возможность использования метода статистического анализа диаграмм рассеяния при прогнозировании геоэкологических аномалий, были проведены расчеты для различных гидрометеорологических параметров в западном секторе российской Арктики.

## Материалы и методы

В работе были использованы значения гидрометеорологических параметров в западном секторе российской Арктики, который включает в себя акватории Баренцева, Печорского и Карского морей с прилегающей материковой зоной:

- среднее значение температура воздуха в мае на гидрометеостанции (ГМС) Норильск за 1933-2020 гг.,
- годовая сумма осадков на ГМС Индига (побережье Баренцева моря) в период 1924-2020 гг.,
- среднее значение температуры воды в октябре на ГМС Унский Маяк в Белом море в период 1975-2008 гг.,
- высота снежного покрова в период максимального влаг запаса (март) на ГМС Холмогоры (Архангельская область) ежегодно за 1966-2020 гг.

Данные получены из Государственного фонда данных о состоянии природной среды. Выборка данных проводилась с использованием Web-технологией «Аисори – Удаленный доступ к ЯОД-архивам»<sup>1</sup>.

Данные по числам Вольфа были получены с использованием ресурсов Геоинформационного портала «МЕТЕО ДВ»<sup>2</sup>.

Для анализа данных были построены диаграммы рассеяния для чисел Вольфа и значений гидрометеорологических параметров. Далее на соответствующей диаграмме рассеяния ось чисел Вольфа делилась на равные интервалы, протяженностью 25 единиц, и для каждого такого интервала определялась повторяемость искомого экстремума.

1 <http://meteo.ru/it/178-aisori>

2 <http://meteo-dv.ru/geospace/averageMonthW>

### Результаты и обсуждение

Анализ корреляционных полей многолетних наблюдений (1924-2020 гг.) за различными гидрометеорологическими параметрами на сети станций Росгидромета, включая данные представленные на рис.1, позволяет предположить следующее. Корреляционное поле представлено либо квазитреугольной формой с максимумом дисперсии точек в области низких значений солнечной активности (температура воздуха, годовая сумма осадков), либо сочетанием квазипрямоугольника в диапазоне 0–150 чисел Вольфа (при наличии высокой дисперсией точек) с более коротким треугольником с вершиной на участке 225 и выше чисел Вольфа (температура воды, высота снежного покрова).

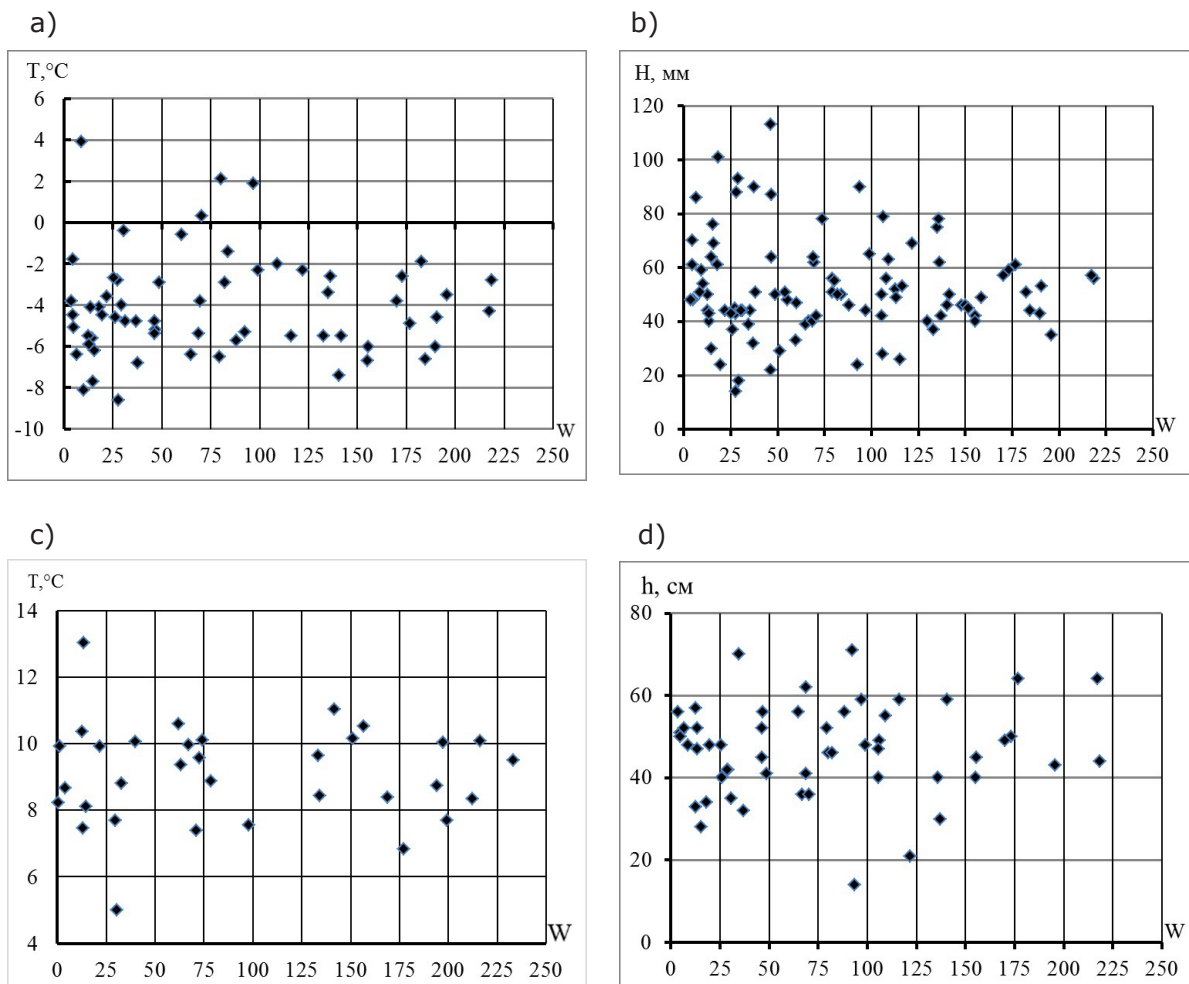


Рисунок 1. Диаграммы рассеяния годовых чисел Вольфа (W) и гидрометеорологических параметров

a) температура воздуха в мае на ГМС Норильск; б) годовая сумма осадков на ГМС Индига в Баренцевом море; с) температура воды в октябре на ГМС Унский Маяк в Белом море; д) высота снежного покрова в марте на ГМС Холмогоры

В ряде ситуаций для треугольных конфигураций корреляционных точек, как и в работе [6], удастся получить линейные зависимости их границ, что позволяет рассчитывать (прогнозировать) экстремумы гидрометеорологических параметров для определенной фазы солнечной активности.

В качестве примера можно привести линейные зависимости максимальных сумм годовых осадков на ГМС Индига, расположенной на побережье юго-востока Баренцева моря, и температуры воздуха на ГМС Норильск в мае от значений чисел Вольфа (рис. 2).

Отметим, что в районе Индиги планируется строительство арктического глубоководного порта, и в годы с аномально высокими атмосферными осадками за счет размыва почвенного покрова и образования обширной микродренажной системы в морские воды может попасть большое количество взвеси и других загрязняющих веществ.

Рассмотрим другой пример. В г. Норильск 29 мая 2020 года в результате аварии произошел разлив большого объема дизельного топлива. Считается, что это

была одна из крупнейших утечек нефтепродуктов в арктической зоне [7]. Анализ данных показал, что именно в мае 2020 г. здесь была зафиксирована экстремально высокая температура воздуха – + 3,9°C, с повторяемостью 5,9% для интервала чисел Вольфа 0–25 (рис. 1). Высокая температура воздуха, вероятнее всего, обусловила сильное протаивание многолетнемерзлых пород в рассматриваемом арктическом районе, повлекшее за собой аварийную ситуацию на хранилище дизельного топлива.

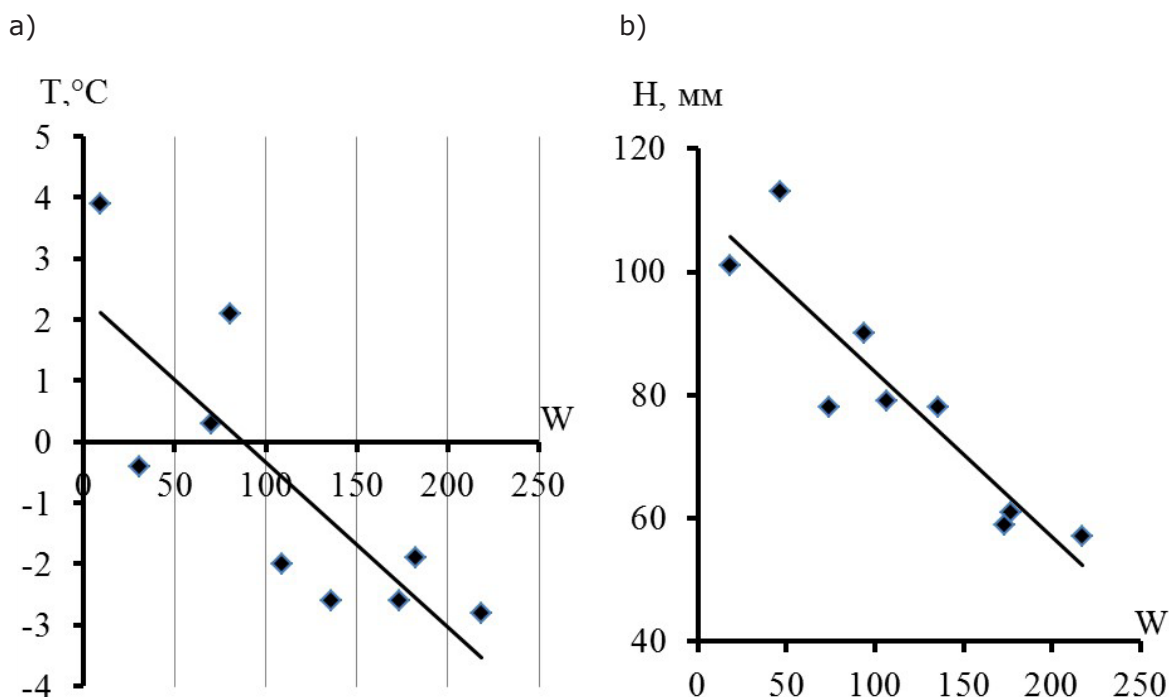


Рисунок 2. Графики связи годовых чисел Вольфа ( $W$ )  
 а) с максимальными температурами воздуха в мае на ГМС Норильск ( $T$ , °C);  
 б) с максимальной годовой суммой осадков на ГМС Индига ( $H$ , мм)

Для определения вышеупомянутых зависимостей воспользуемся стандартной линейной регрессионной моделью, которая имеет следующий вид:

$$C = A + B \times W + f(\varepsilon)_{95} \quad (1)$$

где  $C$  – значение исследуемого показателя;  
 $W$  – значение «управляющего» параметра (число Вольфа),  
 $A$  и  $B$  – константы, определяемые по эмпирическим данным;

$f(\varepsilon)$  – функция ошибок (регрессионных остатков) 95% обеспеченности, показывающая различия между действительными и расчетными значениями  $C$ , которая определяется по следующей формуле:

$$\varepsilon_{95} = \pm \sigma_c \times t_{st} \times (1-R^2)^{0.5} \quad (2)$$

где  $\sigma_c$  – среднеквадратичное отклонение для выборки  $C$ ;  
 $t_{st}$  – критерий Стьюдента, зависящий от размера выборки;  
 $R$  – коэффициент линейной корреляции.

Соответствующие уравнения приведены в таблице 1, их вид показан на рис. 2. Необходимо отметить, что по критериям методического пособия Росгидромета<sup>3</sup> уравнение для максимальных сумм осадков на ГМС Индига в определенных интервалах чисел Вольфа пригодно для ведения прогнозных расчетов.

Для расчета гидрометеорологических экстремумов при наличии нелинейной конфигурации границ диаграммы рассеяния солнечно-земных связей можно использовать одномерные регрессионные модели при предварительной линейаризации таких связей. Последняя операция означает перевод нелинейных зависимостей в квазилинейные путем использования элементарных функций, например, при логарифмировании коррелируемых показателей. В этом случае мы получаем возможность

более достоверного определения погрешности прогнозных расчетов.

Таблица 1

Регрессионные уравнения для зависимости годовой суммы осадков на ГМС Индига ( $H$ ) и температуры воздуха на ГМС Норильск в мае ( $T$ ) от годового значения чисел Вольфа ( $W$ )

№ п/п	Расчетный показатель	Вид уравнения	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Ошибка расчетов
1	Сумма осадков, мм	$H = -0,268W + 110,6$	- 0,911	0,830	± 18,4
2	Температура воздуха, °С	$T = 0,0269W + 2,36$	- 0,811	0,658	± 3,20

В свою очередь, данные фазу или конкретное число Вольфа можно получить прогнозным расчетом [8, 9], или оценить на основе качественной оценки, учитывая одиннадцатилетнюю доминанту в многолетних колебаниях солнечной активности. В данной статье мы не касаемся гидрометеорологических критериев, способных вызвать конкретные геоэкологические аномалии в западном секторе российской Арктики, т.к. эта проблема требует отдельного рассмотрения.

В качестве первого приближения можно ориентироваться на критерии опасных природных явлений (ОЯ), используемых в системе Росгидромета при составлении гидрометеорологических прогнозов. При отсутствии таковых можно воспользоваться экспертными оценками, методология которых подробно описана в монографии [10].

### Выводы

Проведенные исследования показали, что для различных районов западного сектора российской Арктики связь гидрометеорологических параметров, способных нормировать геоэкологические аномалии, с числами Вольфа имеет свой индивидуальный характер. В ряде ситуаций прогнозные экстремумы таких параметров можно рассчитать через одномерные регрессионные модели, учитывающие конфигурацию границ корреляционных полей солнечно-земных связей.

Наиболее высокая вероятность появления геоэкологических аномалий, связанных с гидрометеорологическими экстремумами, наблюдается в диапазоне чисел Вольфа 0–125, при их дальнейшем увеличении она заметно снижается вплоть до нулевого значения.

Для хозяйственной деятельности с наличием рисков возникновения аварийных ситуаций, способных вызвать геоэкологические аномалии («катастрофы»), наиболее «спокойные» годы характерны для периода максимальной солнечной активности, наиболее «тревожные» годы – для периода минимальной солнечной активности.

Рассмотренный подход к прогнозированию геоэкологических аномалий не может претендовать на роль прогнозного метода, соблюдающего соответствующие методические требования Росгидромета. Тем не менее, он может служить дополнительным инструментом для уточнения долгосрочных гидрометеорологических и экологических прогнозов или выступать в качестве альтернативного способа выявления геоэкологических аномалий. Его также можно рекомендовать при ведении проектных работ по строительству промышленных и иных объектов, в том числе, для выбора наиболее «экологически безопасного» периода строительства.

### Список литературы:

1. Хромов С.П. Солнечные циклы и климат // Метеорология и гидрология. 1973. № 9. С.93–110.
2. Соловьева Н.Н. Исследование зависимости колебания уровня Каспийского моря от солнечной активности. СПб.: Изд. РГГМУ, 2004. 69 с.
3. Аль-Тамими М.А., Чукин В.В. Прогноз глобальных среднегодовых значений влагосодержания атмосферы и интенсивности осадков на основе данных статистической модели солнечно-земных связей // Естественные и технические науки. 2016. №3. С. 95–103.
4. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1973. 349 с.
5. Жеребцов Г. А., Коваленко В.А., Молодых С. И. Основные физические процессы в

- атмосфере Земли, криосфере и океане, определяющие особенности климатических изменений в XX в. и их связь с солнечной активностью // Солнечно-земная физика. 2011. Вып. 18. С. 40–50.
6. Мискевич И.В., Умидахон У.К. Использование индекса солнечной активности для прогнозирования геоэкологических ситуаций в прибрежной зоне арктических морей // Естественные и технические науки. 2021. № 2 (153). С. 108–115.
  7. Сазонов А.Д., Комаров Р.С., Передера О. С. Разлив нефтепродуктов в Норильске 29 мая 2020 года: предполагаемые причины и возможные экологические последствия // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2020. Т. 1, № 5. С. 173–177.
  8. Витинский Ю.И. Солнечная активность. М.: Наука, 1983. 192 с.
  9. Холупцев А.В., Никифорова М.П. Методика сверхдолгосрочного прогнозирования изменений состояния солнечной активности с использованием модели множественной линейной регрессии // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Сер.: Екологія. 2011. № 944, Вип. 6. С.13–20.
  10. Коробов В.Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии: монография. Архангельск: Поморский университет, 2008. 234 с.

## References:

1. Khromov S.P. Solnechnye tsikly i klimat [Solar cycles and climate] // Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and hydrology]. 1973. No 9. pp.93-110 (In Russ.)
2. Solovyova N.N. Issledovanie zavisimosti kolebaniya urovnya Kaspiyskogo morya ot solnechnoy aktivnosti [Study of dependence of Caspian Sea level fluctuations on solar activity]. Saint-Petersburg: Ed. of Russian State Hydrometeorological University, 2004. 69 p. (In Russ.)
3. Al-Tamimi M.A., Chukin V.V. Prognoz global'nykh srednegodovykh znacheniy vlagosoderzhaniya atmosfery i intensivnosti osadkov na osnove dannykh statisticheskoy modeli solnechno-zemnykh svyazey [Forecast of global annual mean values of atmospheric moisture content and precipitation intensity based on statistical model of solar-terrestrial relations] // Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]. 2016. No 3. pp. 95-103 (In Russ.)
4. Chizhevsky A.L. Zemnoe ekho solnechnykh bur' [Earth echo of solar storms]. Moscow: Mysl, 1973. 349 p. (In Russ.)
5. Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I. Osnovnye fizicheskie protsessy v atmosfere Zemli, kriosfere i okeane, opredelyayushchie osobennosti klimaticheskikh izmeneniy v XX v. i ikh svyaz' s solnechnoy aktivnost'yu [Main physical processes in the Earth's atmosphere, cryosphere and ocean determining the features of climatic changes in the 20th century and their relation with solar activity] // Solnechno-zemnaya fizika [Solar-Terrestrial Physics]. 2011. Vol. 18. pp. 40-50 (In Russ.)
6. Miskevich I.V., Umidakhon U.K. Ispol'zovanie indeksa solnechnoy aktivnosti dlya prognozirovaniya geoekologicheskikh situatsiy v pribrezhnoy zone arkticheskikh morey [Using the index of solar activity to forecast geo-ecological situations in the coastal zone of the Arctic seas] // Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]. 2021. No 2 (153). pp. 108-115 (In Russ.)
7. Sazonov A.D., Komarov R.S., Peredera O. S. Razliv nefteproduktov v Noril'ske 29 maya 2020 goda: predpolagayemye prichiny i vozmozhnyye ekologicheskiye posledstviya [Oil spill in Norilsk on May 29, 2020: alleged causes and possible environmental consequences] // Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Sistemnyy analiz i modelirovaniye ekonomicheskikh i ekologicheskikh system [Ecology. Economy. Computer science. Series: System Analysis and Modeling of Economic and Ecological Systems] (In Russ.)
8. Vitinsky Y.I. Solnechnaya aktivnost' [Solar activity]. Moscow: Nauka, 1983. 192 p. (In Russ.)
9. Kholoptsev A.V., Nikiforova M.P. Metodika sverkhdlgosrochnogo prognozirovaniya izmeneniy sostoyaniya solnechnoy aktivnosti s ispol'zovaniem modeli mnozhestvennoy lineynoy regressii [Technique of ultra-long-term forecasting of changes in the state of solar activity with the use of multiple linear regression model] // Visnik HNU imeni V. N. Karazina. Ser.: Ekologiya [Visnik KhNU named after V. N. Karazin. Ser.: Ecology]. 2011. No. 944, Vol. 6. pp.13-20 (In Russ.)
10. Korobov V.B. Ekspertnye metody v geografii i geoekologii: monografiya [Expert methods in geography and geoecology: monograph]. Arkhangelsk: Pomorsky University, 2008. 234 p. (In Russ.)