

Квазирегулярные колебания температуры почвогрунтов в Якутии: связь с атмосферными параметрами и солнечной активностью

М.С. Васильев

Институт космифизических исследований и аэронауки им. ЮГ Шафера СО РАН, г. Якутск
m.s.vasiliev@ikfia.ysn.ru

Аннотация. По данным среднегодовых значений пространственно-временных вариаций температуры почвогрунтов (ТП) на глубине 1,6 и 3,2 м показаны квазирегулярные колебания, соответствующие колебаниям атмосферных параметров (приземная температура воздуха – ПТВ, влагосодержание атмосферы – W) и циклам солнечной активности (СА). Были использованы данные сети «ВНИИ-ГМИ-МЦД». По полноте набора данных выбраны следующие временные диапазоны ТП: ст. Покровск (1945–2011 гг.), ст. Томмот (1954–2011 гг.), ст. Чурапча (1959–2011 гг.), ст. Охотский Перевоз (1972–2011 гг.) и ст. Верхоянск (1967–2005 гг.). С наибольшей частотой проявления температурного режима почвогрунтов стоит отметить квазидвухлетние колебания (КДК). В середине частотного диапазона проявляются колебания от 3 до 6 лет. С наименьшими частотами наблюдаются квазирегулярные колебания, соответствующие фундаментальным циклам СА (Швабе, Хейла и Брюкнера). В работе так же дана оценка пригодности климатических моделей (NCEP/NCAR, NCEP/DOE) для воспроизведения температурного режима почвогрунтов в Якутии.

Ключевые слова: температура почвогрунтов, приземная температура воздуха, влагосодержание атмосферы, солнечная активность, квазирегулярные колебания.

Quasiregular Oscillations of Soil Temperature in Yakutia: Relationship with Atmospheric Parameters and Solar Activity

M.S. Vasiliev

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk
m.s.vasiliev@ikfia.ysn.ru

Abstract. In the work on the basis of data of mean annual values of spatial-temporal variations of a soil temperature (ST) at the depths 1.6 and 3.2 m the quasiregular oscillations, which are correspond to oscillations of atmospheric parameters (surface air temperature - SAT, the atmosphere moisture content — W) and solar activity cycle (SA) are shown. The data of the net «RIHMI-WDC» were used. By completeness of the data set, the next time ranges were selected according to ST: st. Pokrovsk (1945–2011), st. Tommot (1954–2011), st. Churapcha (1959–2011), st. Okhotsky Perevoz (1972–2011) and st. Verkhoyansk (1967–2005). It is useful to note that the quasi-biennial oscillations were the most frequent manifestation of soil temperature regime. In the middle of the frequency range of ST, generally, the oscillations from 3 to 6 years are manifested. The quasiregular oscillations were observed with the lowest frequencies which are consistent to fundamental SA cycles (Schwabe, Hale and Bruckner). Also, in the work the estimation of usability of climate models (NCEP/NCAR, NCEP/DOE) for reproduction of soil temperature regime in Yakutia is done.

Key words: soil temperature, surface air temperature, atmosphere moisture content, solar activity, quasiregular oscillations.

Введение

В целом полевые исследования областей криолитозоны и деятельного слоя в частности характеризуются труднодоступностью этих областей, а также обычно их суровыми климати-

ческими условиями. Поэтому для проведения анализа изменения многолетней мерзлоты важен выбор репрезентативных участков, а так же имеющейся информации на основе метеорологических станций по полноте набора данных с привлечением климатических моделей, результаты которых в дальнейшем могут быть экстраполированы на неисследованные территории

[1]. Таким образом, первоочередной задачей являются оценка пригодности климатических моделей, анализ пространственно-временных закономерностей формирования деятельного слоя в различных ландшафтных условиях, а также оценка влияния экзогенных факторов на изменение ТП.

Целью данной работы является выявление квазирегулярных колебаний температуры почвогрунтов, соответствующих колебаниям атмосферных параметров и циклам солнечной активности, а так же оценка пригодности климатических моделей для воспроизведения температурного режима почвогрунтов.

Материалы исследования

В работе были использованы данные ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (<http://www.meteo.ru>). По полноте набора данных (ТП – 1,6 и 3,2 м) выбраны следующие временные диапазоны: ст. Покровск (1945–2011 гг. – 67 лет), ст. Томмот (1954–2011 гг. – 58 лет), ст. Чурапча (1959–2011 гг. – 53 года), ст. Охотский Перевоз (1972–2011 гг. – 40 лет) и ст. Верхоянск (1967–2005 гг. – 39 лет).

Были использованы две версии климатических моделей (реанализ) NCEP/NCAR [2] и NCEP/DOE [3] (National Centre for Environmental Prediction / Department of energy представляет собой доработанную предыдущую версию реанализа NCEP/NCAR). Одним из выходных продуктов реанализа NCEP/NCAR и NCEP/DOE является параметр ТП в слоях 0–10 см, 10–200 см и 300 см. Слою 0–10 см условно соответствует уровень поверхности почвы, и он не рассматривался, так как считаем, что такое сопоставление не совсем корректно.

К тому же информация ТП на глубине от 2 до 15 см по данным наблюдений отсутствует. Оценки температурного режима на глубине 300 см (реанализ) могли быть сопоставлены с данными наблюдения ТП на глубине 320 см, но не выполнены, так как ТП в реанализе на этой глубине представлена в виде константы за весь период наблюдений. Слой 10–200 см условно может быть сопоставлен с данными измерений на глубине 20–160 см (при наличии данных в этом диапазоне слоев (20, 40, 60, 80, 120 и 160 см), они могут быть преобразованы в средневзвешенное значение температуры [4]).

В качестве индекса СА использовались среднегодовые значения чисел Вольфа – данные Научно-исследовательского отдела физики Королевской обсерватории Бельгии (Royal Observatory of Belgium, <http://www.astro.oma.be/en/>).

Результаты и обсуждение

Для проведения сравнительного анализа среднегодовых и среднесезонных (условно зима – январь и лето – июль) вариаций ТП в Якутии за период 1980–2011 гг. между данными реанализа и наземными наблюдениями были использованы метеостанции, представленные на рис. 1. Одним из важных критериев (критерий «уровень глубины») может являться отсутствие данных ТП (данные наблюдения) не более чем на одном из уровней в диапазоне от 20 до 160 см.

Критерию «уровень глубины» из рассматриваемых метеостанций (рис. 1) соответствует лишь ст. Покровск (отсутствует информация ТП на глубине 60 см за рассматриваемый период и на глубине 20 и 40 см за период 1980–1984 гг.).

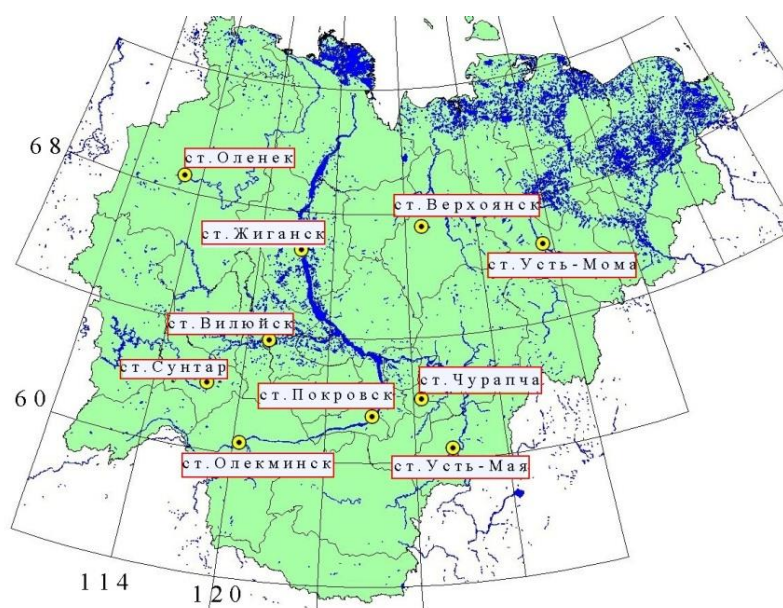


Рис. 1. Расположение метеостанций на территории Якутии

Можно было бы принять во внимание данные ст. Усть-Мая (без учета глубины 60 см), но отмечается множество пропусков наблюдения на глубине 160 см. Подобная картина наблюдается и по другим метеостанциям.

На рис. 2 представлены среднегодовые и сезонные (лето, зима) температурные режимы почвогрунтов по данным ст. Покровск и двух версий реанализа (NCEP/NCAR, NCEP/DOE) за период 1985–2011 гг. Видно, что в целом абсолютные значения ТП между данными наблюдения и реанализа (NCEP/NCAR, NCEP/DOE) в зависимости от среднегодовых и сезонных вариаций находятся в пределах ± 10 °C. Коэффициент корреляции между данными наблюдения и доработанной версии NCEP/DOE отрицателен ($R = -0,08$ – среднегодовые вариации) и находится менее критического значения $r_{\text{крит}}$ ($R = 0,28$ – июль, $R = 0,31$ – январь).

Следующее обстоятельство – это наличие подобий временного хода температурного режима почвогрунтов между данными NCEP/DOE и наблюдений (например, в среднегодовых вариациях за период 1986–1996 гг.). Однако величины трендов (°C/27 лет) говорят о том, что за период 1985–2011 гг. доработанная версия реана-

лиза менее адекватно отображает изменчивость ТП, чем предыдущая. За рассматриваемый период линейные тренды ТП по данным реанализа отличаются от данных наблюдения. В случае использования корректирующей функции $F_r(t)$ [4] для приведения профилей ТП реанализа к данным сетевых наблюдений, к сожалению, не удалось избавиться от трендовой составляющей.

Исходя из вышеописанного, можно говорить о неоднозначной картине пригодности климатических моделей (исходя из сопоставления с данными наблюдения ст. Покровск и критерия «уровень глубины») для воспроизведения температурного режима почвогрунтов в Якутии, что возможно заключается в следующем:

- 1) наличие пропусков в данных наблюдения ТП на метеостанциях, так как их информационная база так же используется в климатических моделях;
- 2) большое пространственное (широтно-долготное) разрешение данных реанализа ($\sim 1,9^\circ \times 1,875^\circ$) без учета ландшафтных (грунтовых) условий;
- 3) следствие несимметричного распределения ошибок по сезонам – смещенная оценка годовой амплитуды ПТВ (NCEP/NCAR) [5]. Подобные

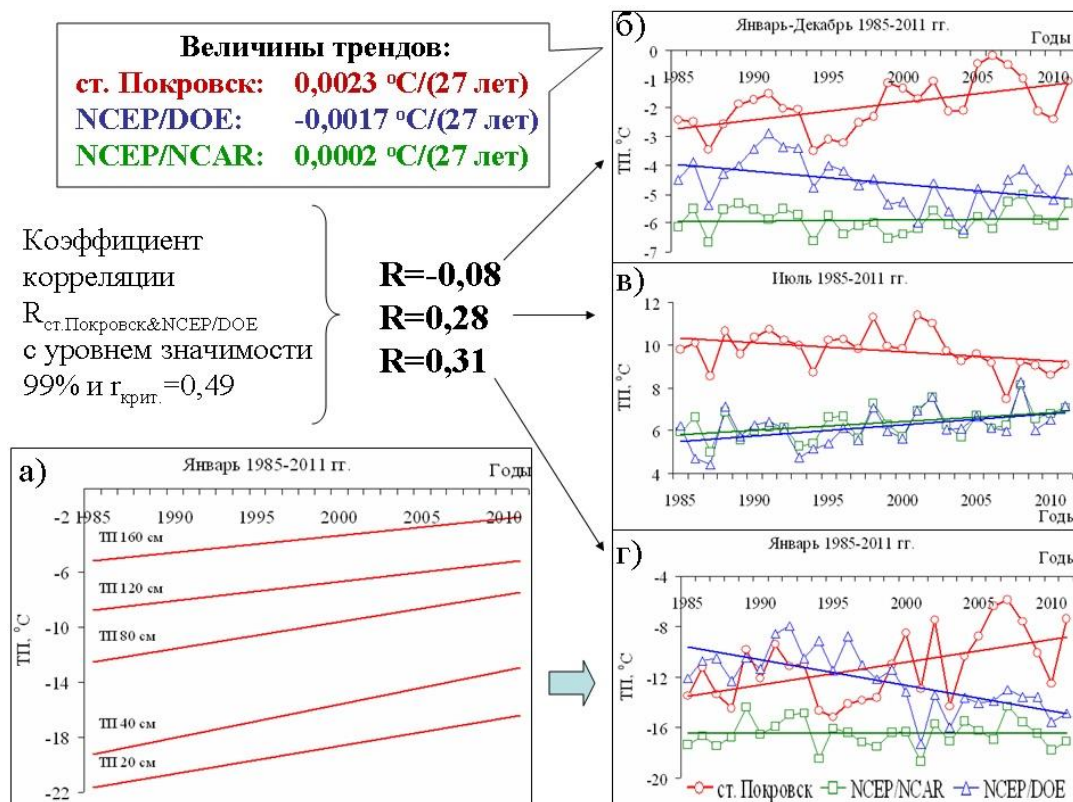


Рис. 2. Температурный режим почвогрунтов за период 1985–2011 гг.: а – линейные тренды ТП (январь) на глубине от 20 до 160 см по данным наблюдения ст. Покровск; б – среднегодовые вариации ТП по данным наблюдения (20–160 см) и реанализа NCEP/NCAR, NCEP/DOE (10–200 см); в – сезонные (июль) вариации ТП; г – сезонные (январь) вариации ТП. В верхнем левом углу отображены величины трендов °C/27 лет и коэффициенты корреляции

оценки используются в моделях многолетне-мерзлых грунтов, и их смещенная оценка может привести к систематической ошибке в результате моделирования грунта и мощности сезонноталого слоя.

Из пунктов 1–3 следует, что оценка адекватного воспроизведения температурного режима почвогрунтов в Якутии климатическими моделями NCEP/NCAR и NCEP/DOE не представляется возможной. Таким образом, считаем, что необходимо увеличение густой сети непрерывных стационарных наблюдений в Якутии.

Для примера на рис. 3 представлены среднегодовые вариации ТП на глубине 1,6 и 3,2 м по данным ст. Покровск за период 1945–2011 гг. Видно, что временные ряды ТП имеют положительную тенденцию к возрастанию. В работе [6] подобный характер временных вариаций ТП описан как наступательно-повышающийся (как в отрицательной, так и положительной фазе). Например, за рассматриваемый период (1945–2011 гг.) среднегодовая ТП на глубине 3,2 м составила $-2,3$ °С, а стандартное отклонение ряда – $0,5$ °С. В целом подобная картина на данной станции наблюдалась и для периода 1931–2007 гг. [6]. Среднегодовая ТП на глубине 1,6 м составила $-2,36$ °С со стандартным отклонением ряда – $0,7$ °С. Коэффициент корреляции среднегодовых значений ТП на этих глубинах составил $0,94$. Коэффициенты корреляции между ТП на рассматриваемых глубинах по другим метеостанциям находятся выше $0,8$. Таким образом, температурные режимы почвогрунтов на глубине 1,6 и 3,2 м достаточно хорошо отображают, относительно друг друга, временные вариации среднегодовых значений.

На рис. 4–5 представлены спектральные анализы Фурье (расчеты выполнены в программ-

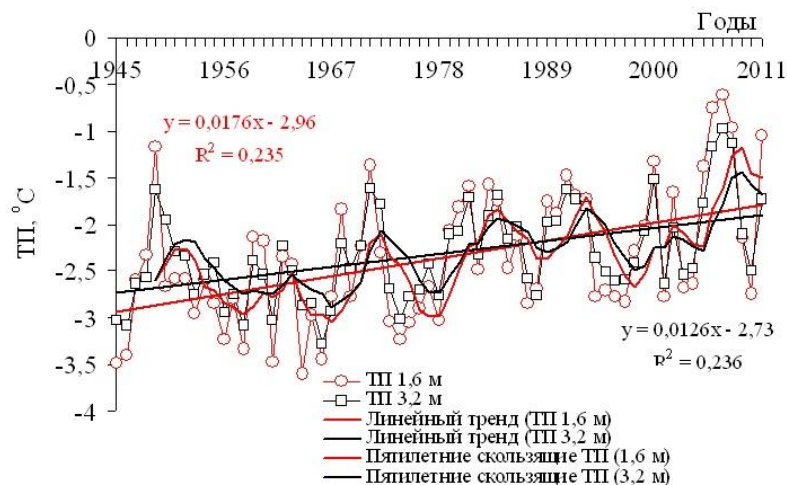
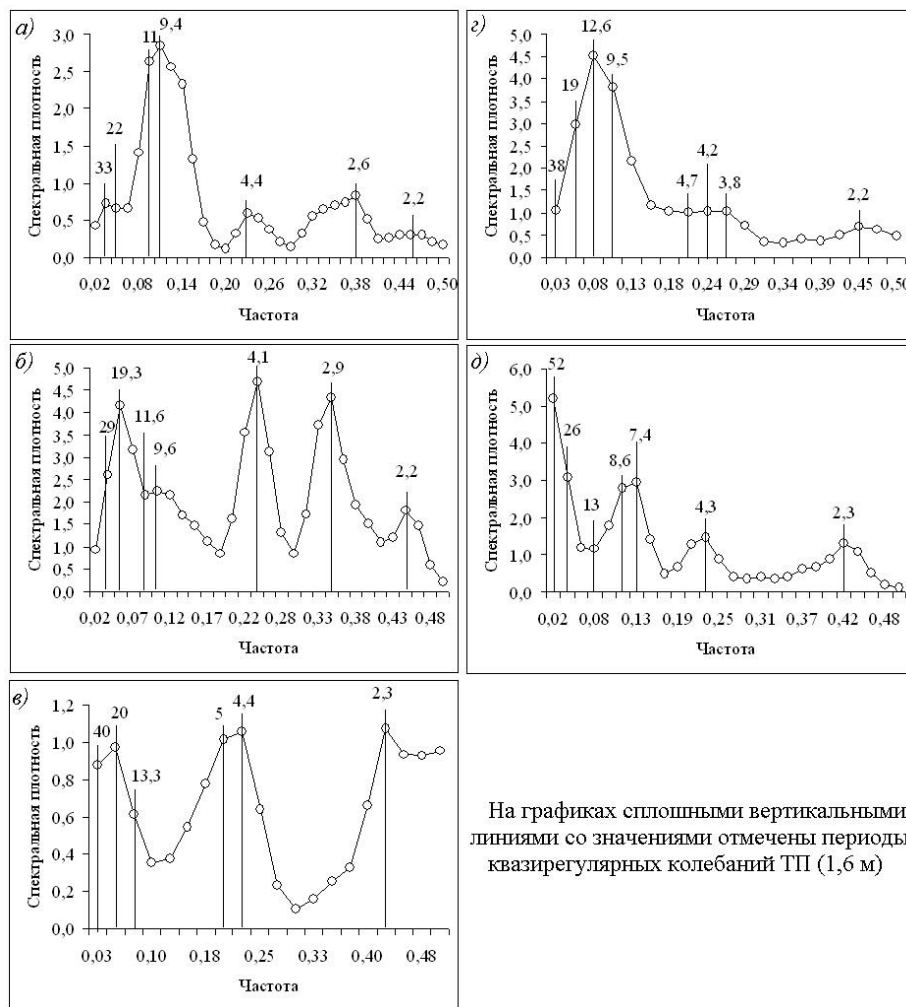


Рис. 3. Среднегодовые вариации ТП на глубине 1,6 и 3,2 м по данным ст. Покровск за период 1945–2011 гг.



На графиках сплошными вертикальными линиями со значениями отмечены периоды квазирегулярных колебаний ТП (1,6 м)

Рис. 4. Спектральный анализ среднегодовых значений ТП (1,6 м): а – ст. Покровск (1945–2011 гг.); б – ст. Томмот (1954–2011 гг.); в – ст. Охотский Перевоз (1972–2011 гг.); г – ст. Верхоянск (1967–2005 гг.); д – ст. Чурапча (1959–2011 гг.)

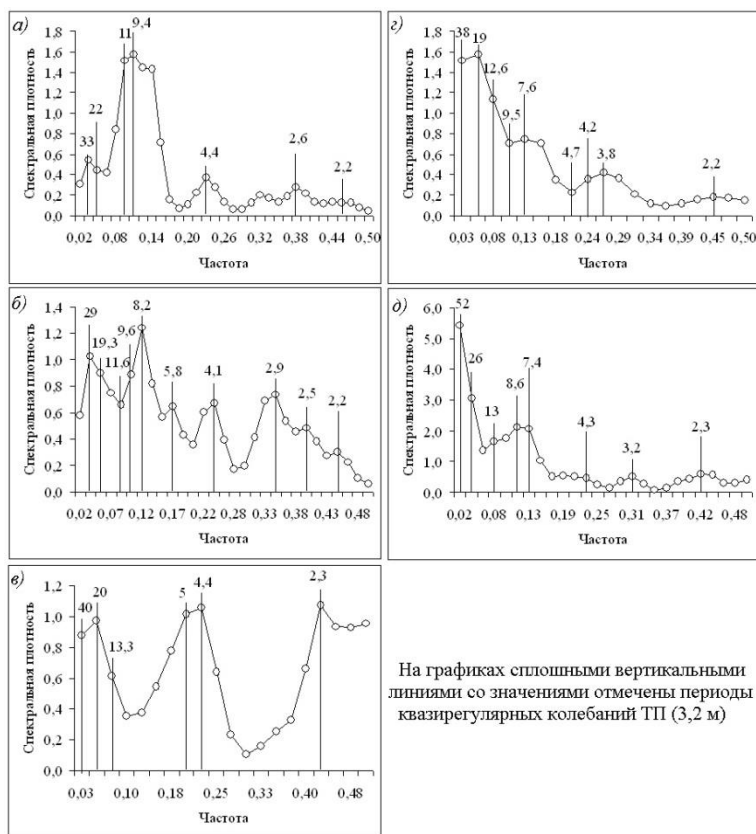


Рис. 5. Спектральный анализ среднегодовых значений ТП (3,2 м): а – ст. Покровск (1945–2011 гг.); б – ст. Томмот (1954–2011 гг.); в – ст. Охотский Перевоз (1972–2011 гг.); г – ст. Верхоянск (1967–2005 гг.); д – ст. Чурапча (1959–2011 гг.)

ном обеспечении STATISTIKA 10) среднегодовых значений ТП на глубине 1,6 и 3,2 м соответственно. Видно, что в вариациях ТП наблюдаются различные квазирегулярные колебания. С наибольшей частотой проявления температурного режима почвогрунтов стоит отметить КДК (период 2,2–2,3 года), которые в свою очередь соответствуют КДК ПТВ [7] и W в Центральной Якутии [8]. В середине частотного диапазона ТП проявляются колебания от 3 до 6 лет, что также соответствует колебаниям ПТВ и влагосодержанию атмосферы [7, 8].

С наименьшими частотами (исходя из временного интервала рядов данных ТП) наблюдаются квазирегулярные колебания, соответствующие (близкие) фундаментальным циклам СА. Например, 11-летнему циклу СА Швабе (Schwabe), циклу Хейла (Hale), равного удвоенному циклу Швабе, и циклу Брюкнера (Bruckner) – периодичность цикла около 35 лет, который характеризует многолетние колебания климата от холодных и влажных лет к теплым и сухим на протяжении от 25 до 50 лет.

Следующее обстоятельство, на которое стоит обратить внимание, исходя из наиболее продолжительного периода рассматриваемых данных (1945–2011 гг.) – это присутствие хорошо видимых трендовых компонент в среднегодовых вариациях ТП по данным ст. Покровск (рис. 6). Трендовые компоненты получены при аппроксимировании временного ряда полиномом шестого порядка.

Исходя из рис. 6, можно предположить, что, в целом, максимумы (гребни) ТП проявляются поочередно, соответствуя циклу Брюкнера, в эпоху четного (например, 18), а затем в нечетном (21) циклах СА и т.д. А минимумы (ложбины) ТП проявляются в эпоху минимумов СА, находясь между нечетным и четным циклом и наоборот.

Таким образом, для выявления подобных закономерностей между ТП и атмосферными параметрами, а так же циклами СА необходим однородный ряд экспериментальных данных на длительном интервале времени. Подобные закономерности могут позволить выявить так называемый «триггерный механизм» влияния атмосферных параметров и геиофизических явлений на температурный режим почвогрунтов. Например, в работе [9] указаны глобальные факторы, которые вызывают изменения климата

на всей планете и их можно подразделить на геопланетарные, астропланетарные и космопланетарные. По мнению авторов работ [10, 11], взаимосвязь между различными климатообразующими глобальными факторами осуществля-

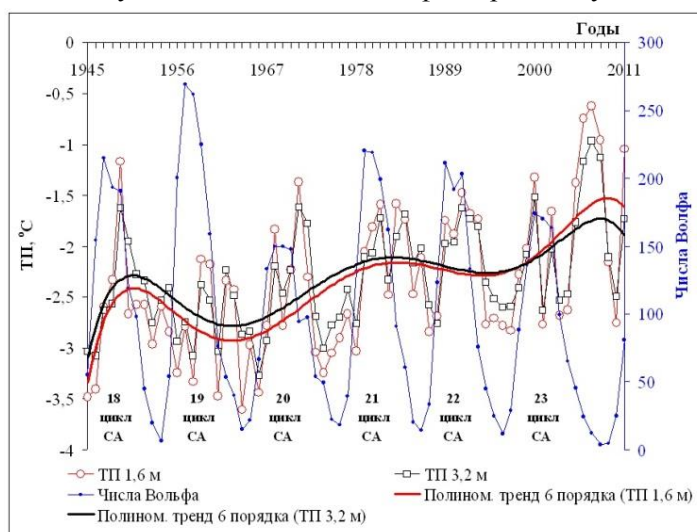


Рис. 6. Среднегодовые вариации чисел Вольфа и ТП на глубине 1,6 и 3,2 м по данным ст. Покровск за период 1945–2011 гг.

ется по принципу резонанса. С концептуальной моделью проявления этого эффекта (принципа резонанса) в условиях глобальной климатической системы можно ознакомиться в работе [12]. Этот эффект авторами [12] назван терморезонансным, который приводит к значительным периодическим похолоданиям и потеплениям глобального климата.

Выводы

Таким образом, в работе показано, что в среднегодовых значениях пространственно-временных вариаций ТП на глубине 1,6 и 3,2 м наблюдается проявление квазирегулярных колебаний, соответствующих колебаниям атмосферных параметров (ПТВ, W) и циклам СА (Швабе, Хейла и Брюкнера).

Сравнительный анализ температурного режима почвогрунтов между данными реанализа (NCEP/NCAR, NCEP/DOE) и станционными наблюдениями указывает на неоднозначную картину пригодности климатических моделей. В связи с этим необходимо увеличение густоты сети непрерывных станционных наблюдений в Якутии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 15-05-05320а.

Литература

1. Васильев М.С., Николашкин С.В. Влияние экзогенных факторов на многолетние изменения температуры почвы над центральной частью Якутии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, 5–7 апреля 2017 г. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2017. Т. 2. С. 291–293.
2. Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2001. V. 82, № 2. P. 247–267.
3. Kanamitsu M. et al. NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // Bull. Amer. Meteor. Soc. November 2002. P. 1631–1643.
4. Золотов С.Ю., Ипполитов И.И., Логинов С.В., Луцицкая И.О., Белая Н.И. Сравнение данных реанализа NCEP/NCAR профилей температуры почвы с данными измерений станций на территории Западной Сибири // Криосфера Земли. 2011. Т. XV, № 2. С. 14–20.
5. Васильев М.С., Николашкин С.В., Каримов Р.Р. Сравнение приземной температуры воздуха в Якутии по данным реанализа и наземных наблюдений // Вестник СВФУ. 2014. Т. 11, № 5. С. 82–88.
6. Федоров А.Н., Константинов П.Я. Реакция мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии на современные изменения климата и антропогенные воздействия // География и природные ресурсы. 2009. № 2. С. 56–62.
7. Васильев М.С., Николашкин С.В. Исследования проявления солнечно-земных связей на приземную температуру воздуха в Якутии по данным метеорологических станций // Наука и образование. 2014. № 2. С. 124–130.
8. Васильев М.С., Николашкин С.В., Решетников А.А., Титов С.В., Тыщук О.В. Связь широтной динамики влагосодержания атмосферы с квазидвухлетними колебаниями зонального ветра в экваториальной стратосфере и солнечной активности над северо-востоком Евразии за период 1979–2015 гг. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, 5–7 апреля 2017 г. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2017. Т. 2. С. 293–298.
9. Шепелев В.В. О взаимосвязи между главными факторами формирования климата и криолитосферы Земли // География и природные ресурсы. 1999. № 3. С. 138–142.
10. Балобаев В.Т., Шепелев В.В. Космопланетарные климатические циклы и их роль в развитии биосферы Земли // Доклады Академии наук. 2001. Т. 379, № 2. С. 247–251.
11. Balobaev V.T., Shepelev V.V. The role of cosmoplanetary climate cycles in Earths cryolithosphere evolution // Extended Abstracts Reporting Current Research and New information. Zurich. Switzerland. 2003. P. 5–6.
12. Балобаев В.Т., Шепелев В.В. Терморезонансный эффект в колебаниях глобального климата // Наука и техника в Якутии. 2003. № 2(5). С. 7–10.

Поступила в редакцию 04.04.2017