



## ГЕОГРАФИЯ

УДК 551.58

### ЭФФЕКТЫ КОСМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И РЕЗОНАНС ПРИЛИВНЫХ ГАРМОНИК В РЯДАХ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

М. Б. Богданов

Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
имени Н. Г. Чернышевского  
E-mail: BogdanovMB@info.sgu.ru

Выполнен цифровой спектральный анализ столетних рядов среднесуточных значений аномалий приземной температуры воздуха, зарегистрированных на метеостанциях Де-Билт и Лугано. В спектрах мощности рядов данных найдены пики, связанные с влиянием различных земных и космических факторов: квазидвухлетнего цикла, полюсного прилива, лунно-солнечных приливов, вращением системы Земля–Луна вокруг общего центра масс и солнечной активности. Неожиданно большую высоту имеет пик, соответствующий резонансу  $2M_f - 3M_m$  частот полумесячной  $M_f$  и месячной  $M_m$  гармоник приливного потенциала.

**Ключевые слова:** приземная температура воздуха, спектральный анализ, приливы, солнечная активность.

#### Effects of Space Factors and Resonance of Tidal Harmonics in Surface Air Temperature Datasets

М. В. Bogdanov

The digital spectral analysis was carried out for centennial datasets of mean daily values of the surface air temperature anomalies at De Bilt and Lugano weather stations. In the power spectra of datasets peaks are found, which are associated with the influence of various terrestrial and space factors: the quasi-biennial oscillation, the pole tide, luni-solar tides, the rotation of the Earth – Moon system around the barycenter, and the solar activity. Surprisingly, a great height has a peak corresponding to the resonance  $2M_f - 3M_m$  of frequencies of the fortnightly,  $M_f$  and the monthly,  $M_m$  tidal potential harmonics.

**Key words:** surface air temperature, spectral analysis, tides, solar activity.

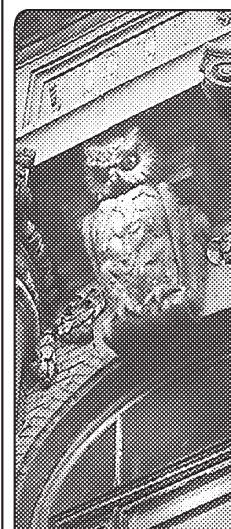
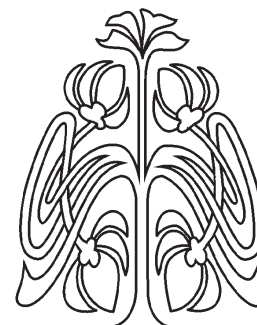
DOI: 10.18500/1819-7663-2016-16-1-5-10

#### Введение

Возможное влияние различных космических факторов на погодные явления и климат изучалось многими авторами. Большое внимание было уделено факторам солнечной активности [1–7]. Вунш (Wunsch) [8] и Трелор (Trelor) [9] рассмотрели климатические воздействия лунно-солнечных приливов. Перцев (Pertsev) и Далин (Dalín) [10] исследовали влияние фазы и склонения Луны на изменение облачности. Вращение системы Земля–Луна вокруг общего центра масс вызывает периодические изменения инсоляции, приводящие к изменениям приповерхностной температуры нашей планеты. Воздействие этого фактора изучалось в работах [11–15].

В целом влияние космических факторов на тропосферные процессы оказывается достаточно малым. Однако периодический характер воздействий позволяет обнаружить их при исследовании достаточно продолжительных временных рядов атмосферных характеристик. При этом представляет интерес применение цифрового спектрального анализа, дающего возможность проводить поиск гармоник в случайном шуме.

Целью настоящей работы является спектральный анализ столетних временных рядов среднесуточных значений приземной температуры воздуха.



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





## Наблюдательные данные и методика анализа

Были проанализированы ряды наблюдений, проведенных на метеостанциях 06260 De Bilt ( $52^{\circ}06' N$ ,  $5^{\circ}11' E$ ,  $H = 2$  м, с 01.01.1901 г. по 31.12.2010 г.) и 06770 Lugano ( $46^{\circ}00' N$ ,  $8^{\circ}58' E$ ,  $H = 273$  м, с 01.01.1901 г. по 31.12.2004 г.). Информация была собрана в ходе выполнения проекта European Climate Assessment и доступна в сети Интернет (<http://eca.knmi.nl>). Вопросы контроля качества и статистической однородности этих данных обсуждаются в работе [16].

Из рядов среднесуточных значений приземной температуры были вычтены линейные тренды, связанные с глобальным потеплением. Для устранения влияния сезонных изменений температуры из данных последовательно вычитались синусоиды с периодом тропического года 365.2422 сут и его первой гармоники с периодом 182.6211 сут. Параметры линейных трендов, амплитуды и начальные фазы сезонных гармоник оценивались методом наименьших квадратов. Можно ожидать, что отфильтрованные таким образом ряды данных не содержат сезонных изменений. Стандартное отклонение полученных аномалий температуры для метеостанции Де-Билт составляет 3.34 К, а для Лугано – 2.56 К.

При расчете спектров мощности применялся классический вариант спектрального анализа с использованием фурье-преобразования автокорреляционной функции [17]. Максимальный временной сдвиг автокорреляции был выбран равным 5000 сут. При этом ширина полосы частот спектрального окна Ханна, характеризующая разрешающую способность по частоте, составляет  $\Delta f = 2.667 \cdot 10^{-4}$  сут $^{-1}$ , число степеней свободы сглаженных оценок спектров равно 20, а длина 90%-го доверительного интервала для математического ожидания в логарифмическом масштабе равна 0.46.

## Результаты анализа

Спектры мощности рядов аномалий температуры рассчитывались вплоть до максимальной

частоты Найквиста  $0.5$  сут $^{-1}$ . Знание точных значений периодов космических факторов позволяет отождествить в спектрах ряд пиков, сведения о которых приведены в таблице. Предполагалось, что погрешность оценки периода  $\Delta T$  определяется разрешением по частоте  $\Delta f$  и  $\Delta T = T^2 \Delta f$ .

Наиболее интересные участки спектров мощности приведены на рис. 1 и 2. Горизонтальными отрезками на этих рисунках показана ширина полосы частот спектрального окна, а вертикальными – длина 90%-ного логарифмического доверительного интервала для математического ожидания сглаженной спектральной оценки. Отождествленные гармоники отмечены соответствующими обозначениями у вершин пиков.

Гармоники, связанные с квазидвухлетним циклом  $QBO$ , полюсным приливом  $T_p$  и ригеровским циклом  $R$ , отражены на рис. 1. Пики, отмеченные на рис. 2, соответствуют месячной гармонике приливного потенциала  $M_m$ , синодическому месяцу Луны  $L0$  и гармоникам, связанным с солнечной активностью  $T_{S1}$  и  $T_{S2}$ . Следует отметить, что не у всех пиков максимумы выходят за границы принятого доверительного интервала. Однако совпадение в пределах оцененной погрешности периодов гармоник с точными значениями подтверждает их реальность.

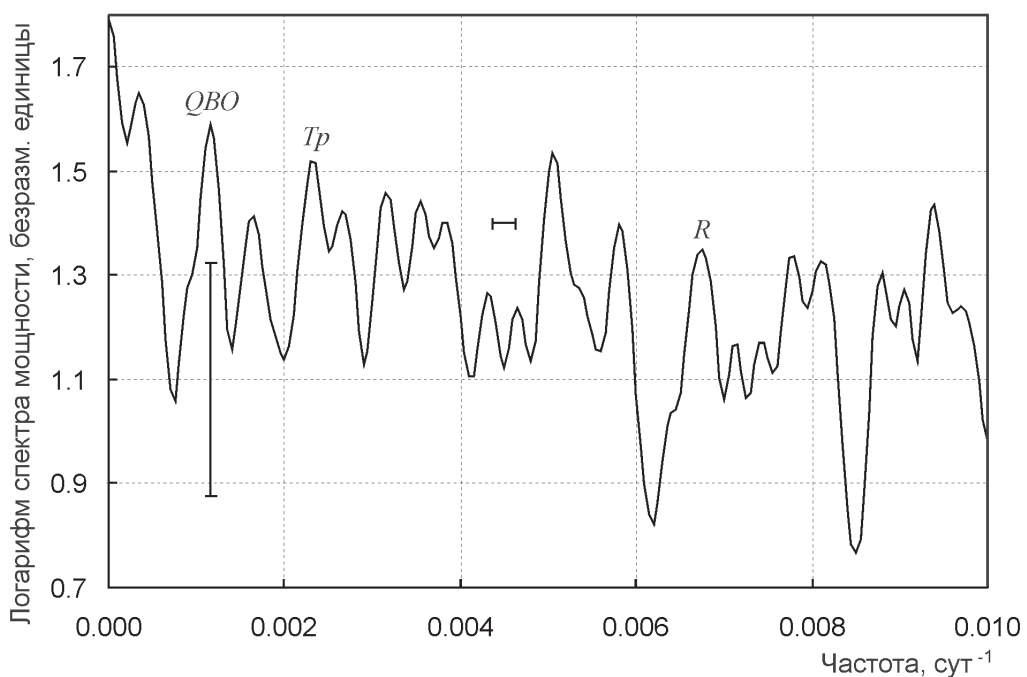
Наиболее заметным на рис. 2 является пик с частотой  $0.0377$  сут $^{-1}$ . Сравнение его высоты с доверительным интервалом свидетельствует о статистической значимости соответствующей спектральной гармоники. Частота, соответствующая максимуму этого пика, в пределах погрешности совпадает с резонансом  $2M_f - 3M_m$  частот полумесячной  $M_f$  и месячной  $M_m$  гармоник приливного потенциала. Как видно из рис. 2, амплитуда гармоники этого резонанса приблизительно в 1.5 раза превышает амплитуду гармоники  $M_m$ .

## Обсуждение результатов

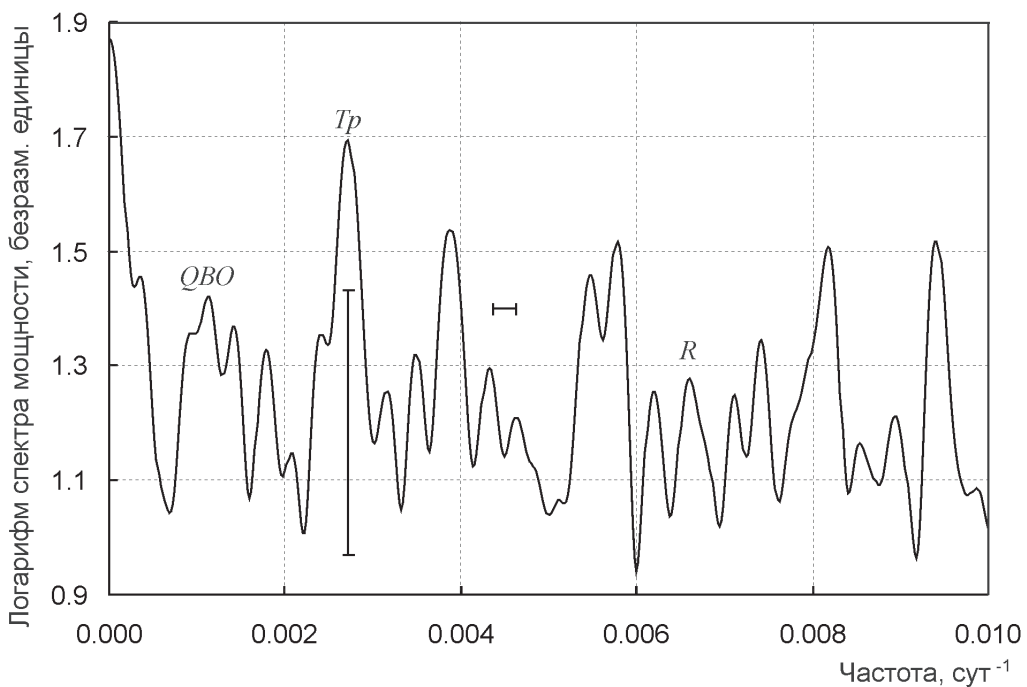
Анализ полученных спектров мощности свидетельствует о влиянии на приземную температуру атмосферы двух геофизических факторов:

### Периоды гармоник, обнаруженных в спектрах мощности временных рядов аномалий приземной температуры воздуха на метеостанциях Де-Билт и Лугано, и их идентификация

Номер гармоники	Де-Билт (период), сут	Лугано (период), сут	Точное значение периода, сут	Идентификация
1	$869 \pm 200$	$891 \pm 210$	870	$QBO$
2	$435 \pm 51$	$413 \pm 47$	433	$T_p$
3	$148.1 \pm 5.9$	$151.1 \pm 6.1$	154	$R$
4	$29.37 \pm 0.23$	$29.55 \pm 0.23$	29.53	$L0$
5	$28.49 \pm 0.22$	$28.54 \pm 0.22$	28.30	$T_{S2}$
6	$27.82 \pm 0.21$	$27.53 \pm 0.20$	27.55	$M_m$
7	$27.17 \pm 0.20$	$27.19 \pm 0.20$	27.03	$T_{S1}$
8	$26.53 \pm 0.19$	$26.54 \pm 0.19$	26.65	$2M_f - 3M_m$
9	$13.67 \pm 0.05$	$13.67 \pm 0.05$	13.66	$M_f$



*a*



*б*

Рис. 1. Десятичный логарифм спектра мощности аномалий приземной температуры воздуха в области гармоник с периодами около месяца по данным метеостанций Де-Билт (*a*) и Лугано (*б*)

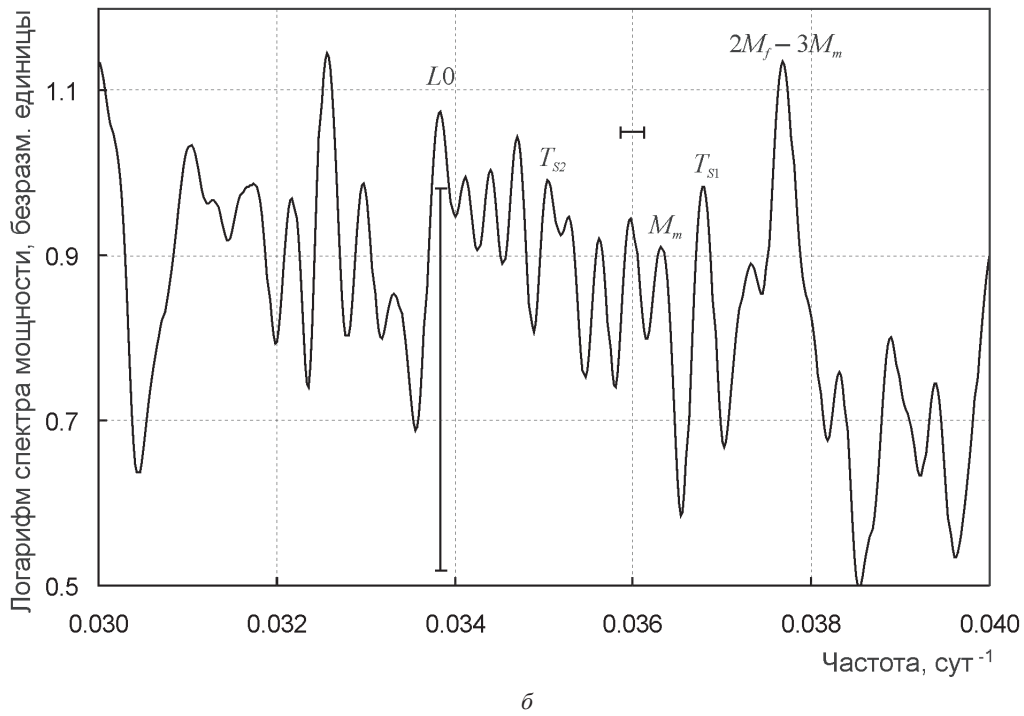
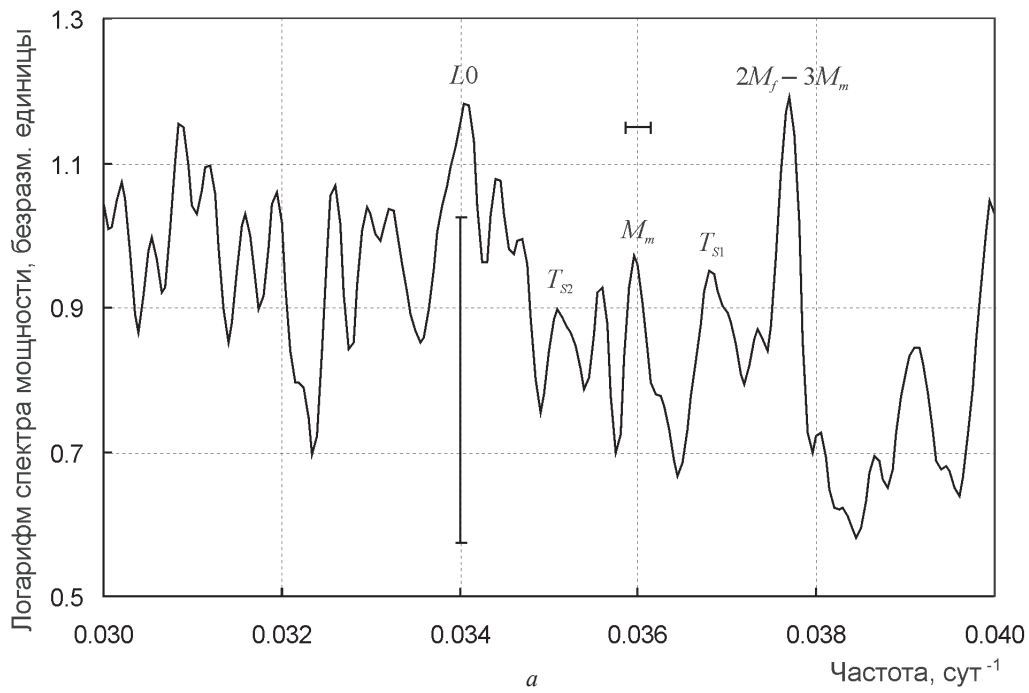


Рис. 2. Десятичный логарифм спектра мощности аномалий приземной температуры воздуха в области гармоник с периодами, превышающими 100 сут, по данным метеостанций Де-Билт (а) и Лугано (б)



квазидвухлетнего цикла  $QBO$  [18] и полусного прилива  $T_p$  [19]. Как видно из таблицы, формальные оценки погрешностей периодов этих долгопериодических гармоник довольно велики. Тем не менее частоты максимумов соответствующих им пиков близки к точным значениям.

Несколько отождествленных гармоник связаны с солнечной активностью. Символом  $R$  в таблице и на рис. 1 отмечен пик с периодом ригервского цикла продолжительностью 154 сут. Этот цикл первоначально был обнаружен при анализе сильных солнечных вспышек [20]. Позднее его существование было подтверждено и при исследовании изменений других индексов солнечной активности [21, 22].

Период гармоник  $T_{S1}$  совпадает с синодическим периодом вращения Солнца, она обычно ассоциируется с явлением рекурренции, обусловленным наличием активных областей и корональных дыр, существующих в течение нескольких солнечных оборотов [1]. Гармоники  $T_{S1}$  и  $T_{S2}$  обнаружены также при исследовании изменений солнечных фотосферных магнитных полей и межпланетного магнитного поля [23, 24].

Гармоника с периодом синодического месяца Луны  $L0$  статистически значимо присутствует в спектрах аномалий температуры на обеих метеостанциях. Как уже упоминалось во введении, изменение с таким периодом проявляется также в глобально осредненной приповерхностной температуре [15], его причиной является изменение инсоляции при вращении системы Земля–Луна вокруг общего центра масс. Наличие данной гармоник свидетельствует о том, что земная климатическая система (ЗКС) не сглаживает изменения инсоляции с периодом синодического месяца, следовательно, время ее реакции на внешнее радиационное воздействие не может заметно превышать 29.53 сут. Этот результат согласуется с полученной нами ранее оценкой импульсной передаточной характеристики ЗКС [25], давшей для ее эквивалентной постоянной времени значение  $1.04 \pm 0.17$  мес.

## Заключение

Проведенный анализ спектров мощности временных рядов аномалий температуры позволил найти в их изменениях влияние ряда геофизических и космических факторов. Особый интерес представляет обнаружение резонанса  $2M_f - 3M_m$  частот полумесячной  $M_f$  и месячной  $M_m$  гармоник приливного потенциала. Резонансы подобного вида часто встречаются у тел Солнечной системы [26]. Однако в изменениях характеристик земной атмосферы они не были ранее отмечены. Представляется важным подтвердить этот результат при анализе независимых наблюдательных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки России в рамках базовой части (код проекта 2179).

## Библиографический список

1. Герман Дж. Р., Голдберг Р. А. Солнце, погода и климат. Л. : Гидрометеиздат, 1981. 319 с.
2. Jager C. de, Duhau S., Geel B. van. Quantifying and specifying the solar influence on terrestrial surface temperature // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2010. Vol. 72. P. 926–937.
3. Распопов О. М., Веретенко С. В. Солнечная активность и космические лучи : влияние на облачность и процессы в нижней атмосфере (памяти и к 75-летию М. И. Пудовкина) // Геомагнетизм и аэрономия. 2009. Т. 49, № 2. С. 147–155.
4. Erlykin A. D., Sloan T., Wolfendale A. W. Clouds, solar irradiance and mean surface temperature over the last century // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2010. Vol. 72. P. 425–434.
5. Solar influences on climate / L. J. Gray, J. Beer, M. Geller [et al.] // Rev. Geophys. 2010. Vol. 48. RG4001. DOI: 10.1029/2009RG000282.
6. Usoskin I. G. Cosmic rays and climate forcing // Mem. Soc. Astron. Ital. 2011. Vol. 82. P. 937–942.
7. Solanki S. K., Krivova N. A., Haigh J. D. Solar irradiance variability and climate // Annual Review of Astronomy and Astrophysics. 2013. Vol. 51. P. 311–351.
8. Wunsch C. Moon, tides and climate // Nature. 2000. Vol. 405. P. 743–744.
9. Treloar N. C. Luni – solar tidal influences on climate variability // Intern. J. of Climatology. 2002. Vol. 22. P. 1527–1542.
10. Pertsev N., Dalin P. Lunar semimonthly signal in cloudiness: lunar-phase or lunar-declination effect? // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2010. Vol. 72. P. 713–717.
11. Balling R. C., Jr., Cerveny R. S. Influence of lunar phase on daily global temperatures // Science. 1995. Vol. 267. P. 1481–1483.
12. Balling R. C., Cerveny R. S. Lunar phase influence on global temperatures // Science. 1995. Vol. 269. P. 1285.
13. Dyre J. C. Lunar phase influence on global temperatures // Science. 1995. Vol. 269. P. 1284–1285.
14. Voorhies C. V. Lunar phase influence on global temperatures // Science. 1995. Vol. 269. P. 1285.
15. Anyamba E., Susskind J. Evidence of lunar phase influence on global surface air temperature // Geophysical Research Letters. 2000. Vol. 27. P. 2969–2972.
16. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment / A. M. G. Klein Tank, J. B. Wijngaard, G. P. Konnen [et al.] // Intern. J. of Climatology. 2002. Vol. 22. P. 1441–1453.
17. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения : в 2 вып. М. : Мир, 1971. Вып. 1. 317 с.
18. Хайруллина Г. Р., Астафьева Н. М. Квазидвухлетние колебания в атмосфере Земли. Препринт Ин-та космич. исслед. РАН. № 2163. М., 2011. 60 с.
19. Максимов И. В. Геофизические силы и воды океана. Л. : Гидрометеиздат, 1970. 447 с.
20. A 154-day periodicity in the occurrence of hard solar flares? / E. Reiger, G. Kanbach, C. Reppin [et al.] // Nature. 1984. Vol. 312. P. 623–625.
21. Lean J. L., Brueckner G. E. Intermediate-term solar





periodicities : 100–500 days // *Astrophys. J.* 1989. Vol. 337. P. 568–578.

22. *Bai T., Sturrock P. A.* Evidence for a fundamental period of the Sun and its relation to the 154 day complex of periodicities // *Astrophys. J.* 1993. Vol. 409. P. 476–486.

23. The solar magnetic field and the solar wind: existence of preferred longitudes / M. Neugebauer, E. J. Smith, A. Ruzmaikin [et al.] // *J. Geophys. Res.* 2000. Vol. 105. P. 2315–2324.

24. *Lawrence J. K., Cadavid A. C., Ruzmaikin A.* Rotational quasi periodicities and the Sun-heliopause connection // *Solar Physics.* 2008. Vol. 252. P. 179–193.

25. *Bogdanov M. B., Efremova T. Yu., Katrushchenko A. V.* Estimation of impulse response of Earth's climate system at short time intervals // *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* 2012. Vol. 86. P. 51–55.

26. *Murray C. D., Dermott S. F.* *Solar System Dynamics.* Cambridge University Press, 1999. 592 p.

УДК 550.4(282.247.414.51)

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ И ПОГРЕБЕННЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

С. П. Ломов, Н. Н. Солодков

Пензенский государственный университет архитектуры  
и строительства

E-mail: stas\_lomov@mail.ru; niconsol@yandex.ru

В статье представлены сведения о валовом химическом составе погребенных суббореальных и субатлантических почв пойменных геосистем Среднего Поволжья. На основе оценки геохимических коэффициентов обоснованы биоклиматические условия их развития, а также особенности процесса почвообразования. Дана сравнительная геохимическая характеристика погребенных почв с их зональными аналогами (черноземами выщелоченными).

**Ключевые слова:** погребенные почвы, голоцен, Среднее Поволжье, пойма, климат.

### Geochemical Conditions of the Development of Modern and Buried Soils of the Middle Volga Region

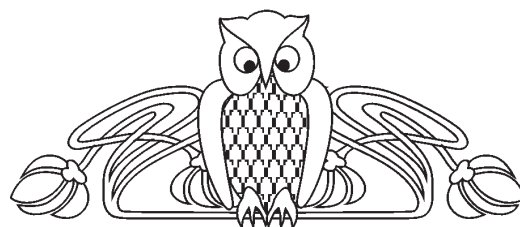
S. P. Lomov, N. N. Solodkov

The article presents data on the gross chemical composition of buried soils of Subatlantic and Subboreal periods, that's located on geosystems floodplain of the Middle Volga. Based on the evaluation of geochemical factors justified bioclimatic conditions of their development, as well as the peculiarities of the process of soil formation. The comparative geochemical characteristics of buried soils with their zonal analogues (leached chernozem).

**Key words:** buried soils, Holocene, Middle Volga floodplain, climate.

DOI: 10.18500/1819-7663-2016-16-1-10-13

Почвы пойменных ландшафтов формируются в субаквальных условиях под влиянием избыточного увлажнения. Это обстоятельство крайне важно для практики сельскохозяйственного освоения и рекреационного использования. В условиях нерациональной мелиорации почвы пойм подвержены обеднению питательными для растений минеральными веществами [1]. Проблема геохимии аллювиальных почв в научной литературе уделяется недостаточное внимание [2, 3], а сведений о геохимических условиях формирования погребенных почв различных геосистем



пойм крайне мало. Отсутствуют эти данные и для Среднего Поволжья.

В качестве объектов исследования отбирались обнажения погребенных почв прирусловых обрывов среднего течения р. Сура в Бессоновском районе Пензенской области (разрез № 1) и Алатырском районе Республики Чувашия (разрез № 2). Сопоставление погребенных почв проводилось с уже изученными их зональными аналогами (черноземами выщелоченными) Бековского района Пензенской области [4]. Радиоуглеродное датирование почв проводилось изотопным методом по  $^{14}\text{C}$  в Институте географии РАН (г. Москва), результаты которого показали абсолютный возраст погребенных почв: разрез № 1, глубина 223–303 см, – 2560±80 ВР (Before Present, или до наших дней) (ИГ РАН-4543); разрез № 1, глубина 303–453 см, – 3870±50 ВР (ИГ РАН-4544); разрез № 2, глубина 130–156 см, – 2330±90 ВР (ИГ РАН-4214). Таким образом, погребенная почва разреза № 1 на глубине 223–303 см и разреза № 2 относится к раннесубатлантическому времени (SA-1), а погребенная почва разреза № 1 на глубине 303–453 см – к среднесуббореальному (SB-2) [5].

Погребенные почвы лугово-черноземовидного облика обнаружены в толще песчаного аллювия с прослойками из слабогумусовых дерново-супесчаных и дерново-суглинистых почв. Морфологически они отличаются темным цветом, сизоватым оттенком, суглинистым или глинистым составом. На стенках трещин или по всей толще рассеяны окисные пленки красновато-коричневого цвета. Для погребенных почв характерны столбчатая структура, солевые выпоты в верхней части горизонтов, невысокое содержание гумуса и других химических показателей.

Определение валового химического состава почв проводилось рентген-флюорисцентным методом. Для лугово-черноземовидных почв результаты пересчитаны на прокаленную навеску, а для зональных почв (черноземов выщелоченных) – на прокаленную и бескарбонатную.