

Памяти выдающегося учёного
профессора И.А. Вылцана
посвящается

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЦИКЛИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЭКОСИСТЕМ

В.Н. Устинова, И.Г. Устинова, В.Г. Устинов, Н.Н. Стариков

Томский политехнический университет
E-mail: ustinovavn@tpu.ru

Статья посвящена изучению циклического развития экосистем Мира и исследованию синхронного изменения климата. В истории развития геологических систем выявляется цикличность, возобновляемость процессов осадконакопления, тектонической активности и климата. В геологических системах обнаруживаются разнопорядковые циклиты. Чередование пород в них есть смена условий образования осадка и температурного режима. Изменения температур тесно связаны с изменением солнечной активности, изучение которой позволяет выявить в режиме её изменчивости гравитационное влияние на неё планет солнечной системы. Построение трендов изменчивости солнечной активности позволяет уточнить периодичность изменчивости и найти причины вызывающие экстремальные изменения температур. Вероятностно-статистическая параметризация временных последовательностей циклически протекающих явлений в геологии и климатических изменениях позволила установить некоторые близкие закономерности в динамике событий.

Ключевые слова:

Экологическая система, геохронология, геологические циклы, солнечная активность, циклы Хейла и Вольфа, число Вольфа, линия тренда, полиномиальные функции.

Key words:

Ecological system, geochronology, geological cycles, solar activity, Hale and Wolf cycles, Wolf number, trend line, polynomial functions.

Введение

Вероятностно-статистическое моделирование циклически изменяющихся геологических событий и явлений, циклических изменений яркости солнечного излучения и сопутствующих им изменений температур и климата позволили авторам установить закономерности в структуре вариаций температур, получить математические модели трендов для температурной изменчивости и изменчивости солнечной активности. Целью исследований авторов являлось выявить тенденции климатических изменений и получить их вероятностно-статистические модели.

Методы исследований и результаты

Изучение геологических процессов на Земле показывает их цикличность, наличие повторяющихся режимов накопления осадков, периодическое изменение климата. В структуре геологического разреза, в геохронологии каждой локальной территории, — многолетняя миллионная история запечатлена в рисунке геологической формации, в типовой последовательности фаций. Наиболее наглядно эта история проявляется в сочетании литологических единиц осадочного разреза. В теле фации и формации выявляется и устанавливается закономерность в смене типов осадков, изменении режимов осадконакопления, а значит, и климата. Климат циклически изменялся на одной и той же территории [1, 2]. В каждой заданной точке исследований на поверхности Земли можно построить ряд циклического изменения климата от тепла к холоду: во временных циклах разного порядка. Жаркий засушливый климат менялся на влажный,

тропический, затем бореальный, степной, вплоть до холодного. Смена осадков, например, для территории Западно-Сибирской плиты (ЗСП), где прогнозируемые изменения климата (в мега- и макроциклах) происходили от бореального до жаркого и засушливого, проявилась в изменении типов осадков, от аллювиальных к склоновым, через озёрные, болотные — к прибрежно-морским. И в длительных циклах, соответствующих формированию осадков всего чехла ЗСП (мегациклит), и в смене типов осадков одной формации (например, для осадков юрской или верхнемеловой систем макроциклит) устанавливается близкая последовательность чередования типов осадков [3]. Что собой представляет эта последовательность? Она есть система вложенных друг в друга сегментов подобной (самоподобной) структуры [2]: череда разномасштабных совокупностей ре- и про-циклитов. Дробность фрагментов может быть какой угодно малой, но структура последовательностей: малых, кратковременных в истории Земли, — согласуется со структурой общего ритма, заданного направленностью формирования циклита, например, мега- и макроуровней [2].

По результатам восстановления палеотемператур, например, в юрском периоде ЗСП [4], при анализе последовательности изменения температурных режимов в интервалах длительностью порядка 3 млн лет, обнаруживается следующая временная изменчивость температурного режима. Средняя годовая температура (°C) на достаточно длительных интервалах геологических событий (в юрско-валанжинском макроритме) изменялась от величины порядка 5 °C, через незначительное понижение

средних температур до $0...3^{\circ}$, с возрастанием, при некоторых колебаниях, до $7...8^{\circ}$ и поднималась до значений $15...17^{\circ}\text{C}$. Близкие изменения наблюдаются и в структуре верхнемеловой формации, характеризующейся близкой направленностью изменения режимов осадконакопления. Изменчивость температур в ритмах имеет близкий характер с некоторой трансформацией типа кривой от макро-ритма к макроритму [3]. На промежуточных этапах структура ритма обратная, температура от достаточно высоких значений вновь возвращается к низким, но тенденция общего понижения температур преобладает на территории ЗСП и будет преобладать до этапа завершения мегаритма.

Как действует выявленный закон изменчивости палеотемператур на достаточно коротких временных интервалах? Каков размер этого интервала? Справедливо, что как в цикличности формирования осадков, так и в климатических, температурных изменениях, можно выявить короткопериодные вариации [3], температурные колебания в которых также должны иметь возвратно-поступательный характер.

Авторы рассмотрели особенность развития возвратно-поступательных температурных изменений на примере одного месяца (октябрь 2008 г.) на территории юго-востока ЗСП. Температурные кривые, приведённые на рис. 1, говорят о том, что средняя температура октября изменялась от $5...6^{\circ}\text{C}$ в начале месяца, достаточно долгое время сохранялась и несколько повысилась — до $8...10^{\circ}$, затем резко понизилась до 0° , опять повысилась и сохранялась на уровне $2...3^{\circ}\text{C}$ до конца октября. При тенденции общего понижения температур, тренд которой лучше определяется ночным характером изменения температур (рис. 2, а), дневная кривая лучше показывает возвратно-поступательный характер изменчивости температур (ярко выраженный период колебаний составляет порядка 7 дней).

Практически на любых временных интервалах мы наблюдаем закономерность температурного

роста или понижения, идентичную выявленной в структуре палеотемпературного режима всего осадочного чехла ЗСП. При плавных изменениях тренда — вариации плавны и часты, при возрастании величины градиента перепадов температур в ритме более длительного характера — возрастает амплитуда колебаний температур и несколько возрастает их период. Функции автокорреляции (АКФ), характеризующие разные условия протекания событий, представлены на рис. 2.

Рассмотрим общую тенденцию изменчивости средних температур в истории развития чехла ЗСП, в структуре мегациклита. Если анализировать крупные этапы, например отделы, длительность которых составляет порядка 6...7 млн лет [2, 3], в нижнем триасе температура была относительно высокой, осадки формировались как вулканогенные, вулканогенно-осадочные. Средняя годовая температура была порядка 12°C , в верхнем триасе она несколько понизилась и составила 11° . В нижней юре ещё понизилась, в среднем до $5...6^{\circ}$, в средней юре составляла порядка $3...4^{\circ}$, в верхней юре поднималась до 18° , в нижнем мелу составляла 15°C , в верхнем мелу — 4° , в нижнем палеогене — $13...14^{\circ}$, в среднем палеогене 8° , в верхнем палеогене понизилась до 3°C , в нижнем неогене составила $3...4^{\circ}$, в верхнем неогене — 2° , в четвертичное время составляла 5°C . Изменения температуры в структуре устойчивого, повторяющегося ритма показывают развитие температурного режима от средних температур (10°) с существенно низким значением (3°), затем с некоторым повышением средней температуры (18°), плавным спадом до существенно холодных ($2...3^{\circ}$) и формированием плавного температурного подъёма (5°). Какая закономерность выявляется в структуре мегаритма колебания температур? При тенденции роста она долгое время сохраняется (её АКФ близка по форме к представленной на рис. 2, а). В промежуточные эпохи возможны значительные вариации температур и, тем не менее, тенденции, заложившиеся к нарастанию или

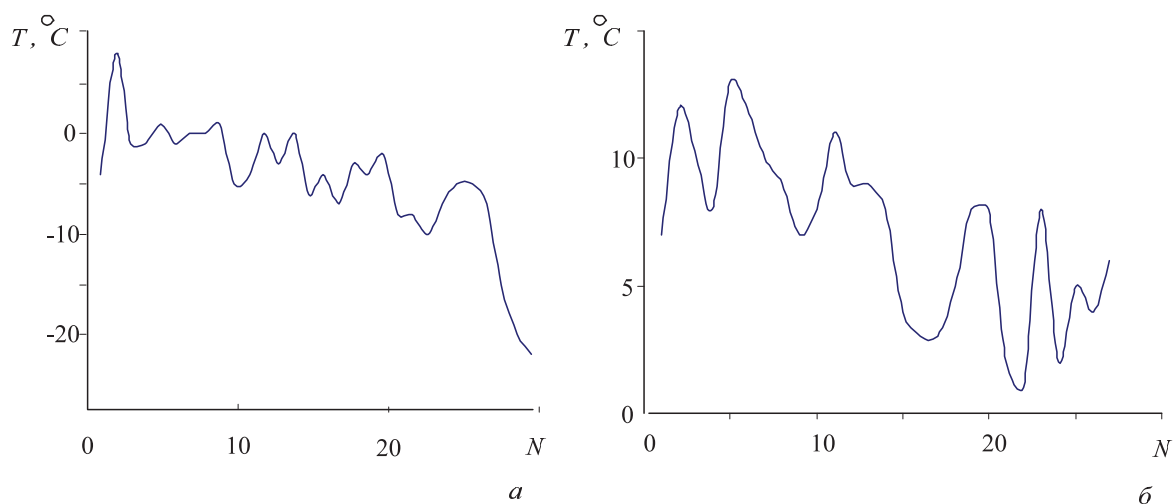


Рис. 1. Средняя суточная температура ($T, ^{\circ}\text{C}$) с 1 по 30 октября 2008 г. на юго-востоке ЗСП: а) в ночное время; б) в дневное время суток (N)

снижению средних температур, являются устойчивыми.

Для современного времени прецедент нарастания температур, вероятно, является закономерной, устойчиво развивающейся тенденцией. Другой вопрос, насколько эта тенденция глобальна? Как она захватывает сопредельные территории? Возможна ли обстановка локального потепления климата, и чем она может определяться? При неизменности полюсов, сохранении условий полярного сжатия и практической неизменности периода вращения Земли, взаимного сочетания и взаимовлияния планет [3], намечается и осуществляется тенденция потепления климата, на направление повышения указывает закономерность, устанавливаемая в структуре макроритма для территории ЗСП. Однако анализ закономерностей мегаритма говорит об относительной тенденции к устойчивости, вероятно, с некоторым дальнейшим повышением температур в ближайшее время и общим (в мегацикле) понижением температур.

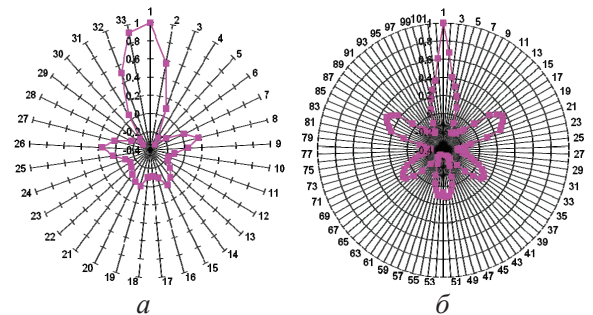


Рис. 2. Автокорреляционные функции температурных вариаций: а) при плавных изменениях тренда; б) при существенных вариациях температурного режима

В чём может состоять внешняя причина потепления. Во-первых, наблюдается возрастание активности Солнца не только в 80-ти летнем, но и в 300-летнем цикле. Циклы солнечной активности не случайны, их длительность коррелирует с периодами вращения планет, 12-летний — с периодом вращения Юпитера, 30-летний — с периодом вращения Сатурна, 80-ти летний — с периодом вращения Урана, 300-летний — с периодом вращения Плутона. Некоторые отличия от величин периодов, изменения средних параметров периодов вращения, вероятно, связаны с периодами вращения других планет и спутников планет, обусловлены их взаимным влиянием друг на друга и на Солнце.

Изучение процессов вулканической активизации на поверхности Земли [2, 5] показывает, что вулканическая деятельность коррелирует с интенсивностью солнечной активности. Количество действующих вулканов и мощные катастрофические извержения приходятся на этапы снижения Солнечной активности при тенденции её роста. Приуроченность к участкам спада кривой Солнечной активности объясняется тем, что Земля, поглотив значительное количество тепла в момент активности, отвечает проявлением собственной ак-

тивности на участках некоторого ослабления вспышечного процесса на Солнце и понижения величин межпланетного гравитационного притяжения.

В историческом развитии процессов осадконакопления можно наблюдать, что эпохам потепления, повышения средних температур, отвечают этапы вулканической деятельности на территории, где существенный расход тепла на вулканическую активность, после процессов бурных вулканических выбросов, приводит к похолоданию (оледенению). Этим объясняется резкое понижение температур в поствулканические эпохи. Вероятно, является справедливым связывать повышение вулканической деятельности с возрастанием активности излучения Солнца. С одной стороны, эти процессы — вспышечная активность на Солнце и вулканическая активность на Земле — сами по себе близки: и по характеру проявления, и по форме взрывных объектов [3]. С другой стороны, последовательность их протекания, связь активности с периодами вращения планет солнечной системы говорит о том, что эта активность (например, на Солнце) определяется гравитационным воздействием планет Солнечной системы на активные оболочки Солнца. По облику и последовательности протекания вспышечной активности на Солнце [6] области активизации принадлежат к приэкваториальной зоне. Активизация протекает как направленный процесс по закону Шперера и имеет связный, в виде «бабочки» геометрический облик. Процесс активизации протекает по облику приливных колебаний, которые осуществляются в активной оболочке Солнца фотосфере вследствие приливного влияния планет, в 12-ти летнем цикле — Юпитера.

На поверхности Земли наиболее вероятно процесс вулканической активизации в какой-то мере связан с энергетической активностью Солнца, в какой-то мере — с влиянием притяжения планет. Максимальная величина приливной силы обусловлена притяжением Луны, Солнца. Воздействия Солнца и Луны относительно постоянны, однако, как мы видим из длительной истории жизни планеты Земля, интенсификация вулканической деятельности имеет эпизодический характер [4]. Глобальная возмущённость, с колоссальным повышением вулканической активности, когда существенно изменяется величина средней температуры воздуха на планете, связана с изменением активности Солнца и вероятна на этапах резкого изменения его гравитационного влияния. В условиях завершения мегаритма, в северном сегменте Земли, бурная вулканическая деятельность маловероятна. Но малоамплитудные колебания поверхности и некоторые изменения температур вследствие этого влияния возможны. В структуре колебаний Солнца обнаруживается мода колебания, характеризующаяся изменением объёма Солнца [3], выявлены вариации радиуса Солнца с его уменьшением до 5 км. Эти колебания связаны с гравитационным влиянием планет. При уменьшении активности, в том чи-

сле, уменьшается и радиус Солнца и в свою очередь интенсивность его влияния на Землю.

Глобальные перестройки в структуре вещества Солнца и тектонических процессах на Земле связаны с влиянием Юпитера и Нептуна. Максимально уменьшается приливное влияние планет, когда они удаляются от Солнца, максимально увеличивается при приближении к Солнцу. Максимальное приливное влияние Юпитера усиливается соединением с Сатурном, практически трижды за период обращения Юпитера, с Ураном — практически 7 раз. Влияние Нептуна и Плутона, вероятно, формируют 300-летний период изменения Солнечной активности. Плутон в соединении с Нептуном и Ураном в настоящее время обуславливают потепление. Их влияние на Солнце увеличивает объём активной области Солнца, возрастает радиус Солнца в его экваториальной области, а значит, усиливается приливное воздействие на Землю, что приводит к росту амплитуд приливных движений в оболочках Земли.

Человечество не обладает точными знаниями об орбите Нептуна, даже о его траектории мы можем судить косвенно по той же кривой активности Солнца. К сожалению и эта кривая не достаточно точная и характеризует активность Солнца в величинах числа Вольфа (W) с относительно высокой степенью точности измерений только порядка 1000 лет. И эти измерения в большей части, пожалуй, не достаточно точны. Тем не менее, в кривой активности Солнца выявляются и трёхсотлетние циклы [6]. В этом цикле активность Солнца продолжает нарастать. На интервале кривой 300-летнего цикла кривая активности не достигла максимума.

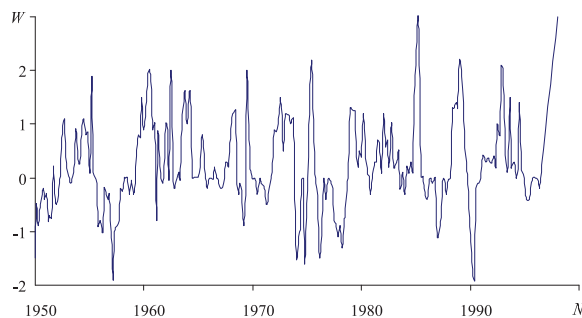


Рис. 3. Индексы солнечной активности (W , в усл. ед.) с 1950 г. (N)

Сглаживание кривой (рис. 3) с радиусом 50 точек (временной интервал — 3 года) позволяет увидеть в кривой 22-х летние [3] циклы Хейла (рис. 4) — с близким характером ритма и повторяемостью локальных максимумов и минимумов на кривых роста солнечной активности.

Сглаживание кривой солнечной активности (рис. 3) по 260 точкам (временной интервал — 8 лет) позволило выявить 80-летний тренд солнечной активности (рис. 5) с непрерывным нарастанием светимости Солнца и выбросов плазмы [6].

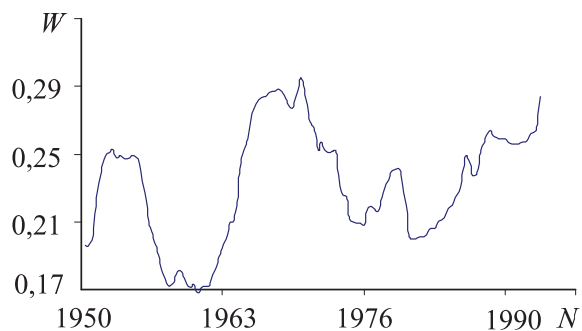


Рис. 4. Индексы солнечной активности (W , в усл. ед.) при сглаживании кривой на рис. 3, N — с 1950 г.

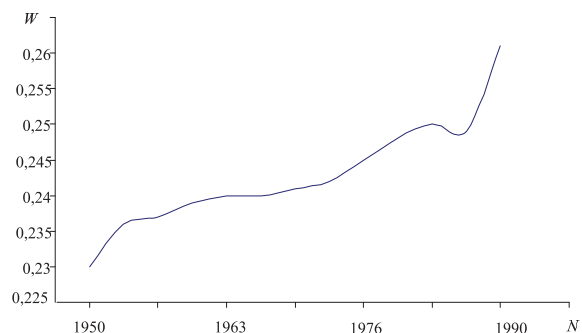


Рис. 5. Индексы солнечной активности (W , в усл. ед.) при сглаживании кривой на рис. 3, N — с 1950 г.

Авторами получен тренд, наилучшим образом описывающий тенденцию изменчивости солнечной активности в настоящий 80-ти летний цикл солнечной активности. Результаты расчётов показали хорошую сходимость с результатами осреднения, они характеризуют процесс температурной глобальной изменчивости как закономерно нарастающий при аппроксимации кривой активности трендом в виде полинома десятой степени (рис. 6):

$$Y = 9,60891 \cdot 10^{10} - 1,56001 \cdot 10^8 x + 47907,8 x^2 + 30,0255 x^3 - 0,00512441 x^4 - 8,57784 \cdot 10^{-6} x^5 - 1,29053 \cdot 10^{-9} x^6 + 1,98428 \cdot 10^{-12} x^7 + 8,06442 \cdot 10^{-16} x^8 - 6,78605 \cdot 10^{-19} x^9 + 1,07579 \cdot 10^{-22} x^{10}$$

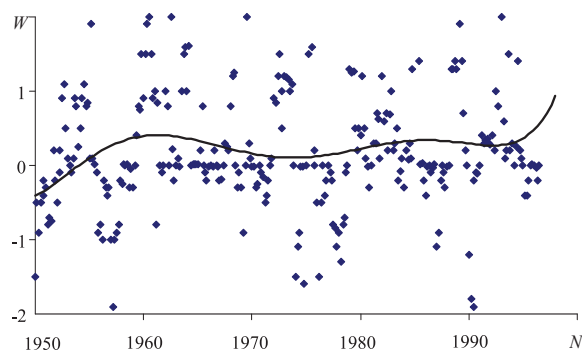


Рис. 6. Аппроксимация кривой солнечной активности (W , в усл. ед.) полиномом десятой степени, N — с 1950 г.

Закон распределения солнечной активности в виде пространственной диаграммы (рис. 7) показывает три глобальных максимума в 3D спектре распределения активности (сатурнианские экстремумы).

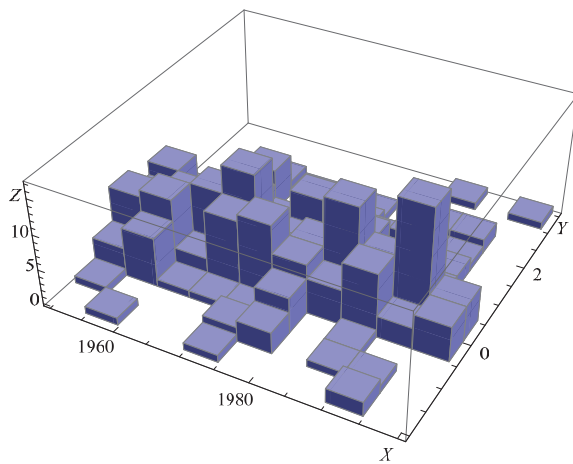


Рис. 7. Пространственная гистограмма солнечной активности с 1950 г. – по оси X , по оси Y – индексы солнечной активности, по оси Z – частота встречаемости индекса активности в интервале времени 5 лет

В пространственном поведении экстремумов активности можно увидеть важную особенность активизационного процесса на Солнце, заключающуюся в нарастании величин экстремумов при возрастании градиента роста вспышечной интенсивности (1980–2000 гг.), уменьшении размеров вторичных всплесков (более высокочастотных) и слабой интенсивности, и большей осложнённости мелкими аномальными всплесками активности – на этапах некоторой стабилизации активизации (слабого или незначительного роста вспышечной кривой). Аппроксимация вспышечного процесса на интервалах циклов Вольфа (рис. 8–10) выполнена с использованием полиномиальных функций. Она показала общую тенденцию к сохранению роста солнечной активности. Систематическая составляющая в циклах описывается АКФ, представленной на рис. 2, а.

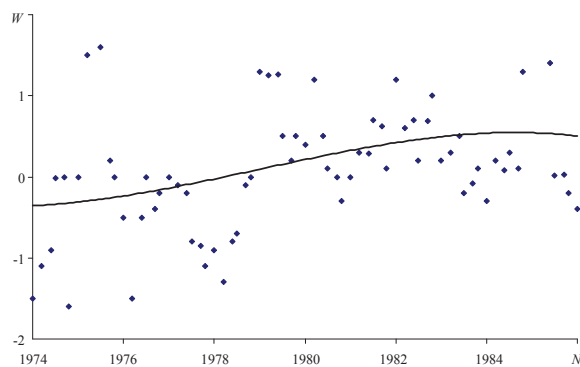


Рис. 8. Аппроксимация кривой солнечной активности (W , в усл. ед.) на временном интервале (N) 1974–1986 гг. полиномом третьей степени

Линия тренда солнечной активности на интервале 1974–1986 гг. (рис. 8) получена при аппроксимации кривой полиномом третьей степени:

$$Y = 4,28049 \cdot 10^7 - 64854,8 x + 32,7542 x^2 - 0,00551405 x^3.$$

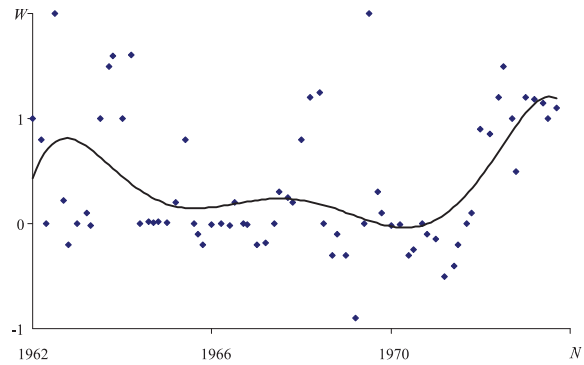


Рис. 9. Аппроксимация кривой солнечной активности (W , в усл. ед.) на временном интервале (N) 1962–1974 гг. полиномом десятой степени

Линия тренда солнечной активности на интервале 1962–1974 гг. (рис. 9) получена при аппроксимации кривой полиномом десятой степени:

$$Y = 467366 - 929,568 x - 0,237808 x^2 + 0,000124089 x^3 + 1,49679 \cdot 10^{-7} x^4 + 7,36322 \cdot 10^{-11} x^5 + 1,12175 \cdot 10^{-14} x^6 - 1,46466 \cdot 10^{-17} x^7 - 1,52535 \cdot 10^{-20} x^8 - 5,69031 \cdot 10^{-24} x^9 + 4,4674 \cdot 10^{-27} x^{10}.$$

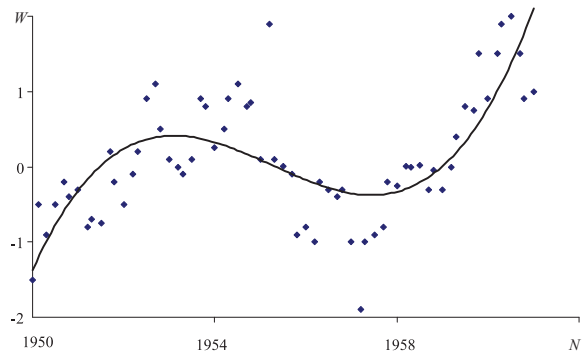


Рис. 10. Аппроксимация кривой солнечной активности (W , в усл. ед.) на временном интервале (N) 1950–1961 гг. полиномом третьей степени

Линия тренда солнечной активности на интервале 1950–1961 гг. (рис. 10) получена при аппроксимации кривой полиномом третьей степени:

$$Y = -1,45519 \cdot 10^8 + 223273 x - 114,19 x^2 + 0,019467 x^3.$$

Так, в изменении температурного режима на Земле наблюдается цикличность мега- макро-, мезо- и элементарного уровня. Исследованные авторами особенности смены температурного режима в юрское, меловое время, в неогее и палеогее на территории ЗСП показали, что эпохи похолодания закономерно сменяют эпохи потепления и наоборот. Тенденция потепления в настоящее время тесно связана с изменением солнечной активности. При продолжающемся росте солнечной активности другие процессы, как, например, техногенные, приводят к локальным изменениям в геоклиматических явлениях и увеличивают их неустойчивость. За период с 1950 г. до настоящего времени наблюдается увеличение среднегодовых температур в

среднем на 0,5 °С в год. В настоящее время производственно-технический потенциал, наращиваемый человечеством, осуществляется в условиях несоблюдения природного баланса. Основные тенденции, неблагоприятно влияющие на состояние климата и геоэкологическое состояние планеты Земля, – это отсутствие рекультивационных мероприятий по завершении добычи полезных ископаемых: трубки взрыва зияют гигантскими впадинами; после добычи угля, железа, цеолитов и многого другого сырья огромные территории теряют первоначальную структуру, почву, растительный слой; добыча нефти сопровождается изменением всего чехла платформ. К существенным изменениям приводит переработка радиоактивного сырья. В силу высокой активности радионуклидов в точках их аномальной концентрации температура повышается. Колоссальный вред наносят природе свалки. Окисление любых видов отходов на поверхности Земли повышает температуру. Путь к нивелированию негативных воздействий не только в снижении выбросов CO₂, но и в широкомасштаб-

ных рекультивациях, озеленении, массовой вторичной переработке сырья.

Выводы

Геологические, тектонические, климатические явления на Земле протекают циклически. Изучение геологических циклов позволило выявить и установить особенности повторяемости и динамику протекания повторяющихся событий и соответствующие им тенденции изменения температуры и климата. Доступны для непосредственного изучения солнечные циклы, вероятностно-статистические характеристики которых позволили авторам установить особенности динамики взрывных процессов на Солнце, показать близкий характер ритма температурных и взрывных событий, подтвердить неуклонное нарастание температур. Рост активности Солнца сохранит в ближайшее время тенденцию к потеплению климата, строже должны стать меры по охране окружающей среды и снижению температурного прессинга, связанного с жизнедеятельностью человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабурин В.Л. Цикло-генетические закономерности эволюции территориальных систем (на примере России) // Вестник МГУ. – 2003. – Сер. 5. – № 1. – С. 3–8.
2. Устинова В.Н., Вылцан И.А. Циклы в геологии // Известия Высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2004. – № 3. – С. 58–64.
3. Селивёрстов Ю.П. Ритмы окружающего мира и их отражение в географической оболочке // Известия Российского географического общества. – 1998. – Т. 130. – Вып. 6. – С. 52–58.
4. Kearey Ph. Dictionary of Geology. 2nd ed. – London; NY: Penguin Reference, 2001. – 123 p.
5. Берри Б.Л. Спектр солнечной системы и модели геофизических процессов // Геофизика. – 2006. – № 3. – С. 64–68.
6. Веселовский И.С. Изучение Солнца с обсерватории «SOHO» // Земля и Вселенная. – 2003. – С. 3–14.

Поступила 26.01.2013 г.