

**ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ
ПРИЧЕРНОМОРСКИХ СТЕПЕЙ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ
(ПО МАТЕРИАЛАМ КРЫМСКОГО ОЗЕРА САКИ)**

Столба В.Ф.¹, Лисецкий Ф.Н.², Пичура В.И.³, Субетто Д.А.⁴

¹*Университет г. Орхус, Дания*

²*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия*

³*Херсонский государственный аграрный университет, Украина*

⁴*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Россия*

Для успешной реализации адаптационной стратегии природопользования, то есть “вписывания” хозяйственных воздействий в функционирование природной среды не только в пространственном, но и во временном отношении, необходимы объективные представления о периодичности природных процессов и причинах, ее обуславливающих.

Обращение к историко-географической периодизации хозяйственного освоения ресурсов степной зоны Восточной Европы на протяжении эпохи поздней бронзы и раннего железного века указывает на волнообразный характер этого процесса. Для моделирования временных рядов с целью палеогеографических реконструкций в условиях степной зоны большим потенциалом обладают данные о процессе седиментогенеза в замкнутых водоемах, который при соответствующей интерпретации раскрывает историю взаимодействия климатических, геолого-гидрологических, физико-химических и биологических факторов на протяжении длительного времени. Это открывает возможности хронологической корреляции между масштабными колебаниями климата (чередование влажных и сухих циклов), с одной стороны, и основными этно-историческими и экономическими процессами, характеризовавшими Степь в её ярких исторических проявлениях, с другой [7].

В Северо-Западном Крыму примечательна Евпаторийская группа озер, которая насчитывает 14 узких морских заливов или устьевых зон балок, затопленных в результате повышения уровня моря и обособленных от моря песчаными пересыпями. Концентрация солей в воде озер достигает летом 100-200‰ [6]. Дно Евпаторийских озер покрыто толщей донных отложений (до 12 м), представленных в верхнем слое черными илистыми отложениями. С конца XIX в. особо пристальный научный интерес был проявлен к озеру Сакскому (Саки) (площадь озерной котловины составляет 9,7 км², солёность – 105‰). Исследованиями А.И. Дзенс-Литовского [1] установлено, что на дне озера поверх пласта соли накапливаются темно-серые и черные илы. В.Б. Шостакович [9] писал: “Иловые отложения Сакского озера, как летописи климата, после соответственного и всестороннего изучения смогут весьма детально осветить ход изменения климата давно прошедших времен”. Для Сакского озера кровля морских отложений имеет дату 5610-5340 календарных лет назад [8]. Значит, к тому времени уже начала образовываться пересыпь, а полное обособление Сакского озера произошло около 5200 лет назад. Построенная в 1893 г. первая перемычка разделила озеро на две неравные части: меньшую, которой пользовался курорт, и большую (западную), откуда черпали сырьё соляной промысел и Сакский химический завод. В наши дни вместо озера как целостного гидрологического объекта имеется группа неодинаковой величины и формы бассейнов с рапой, различной по составу и концентрации.

Исследование буровой колонки с верхней ее границей 1894 г., полученной из Сакского озера Шостаковичем [9], и последующий анализ изменения толщины микрозон ежегодно отлагавшегося ила за 4188 лет [2] позволили реконструировать разнопе-

риодическую изменчивость условий увлажнения степной зоны. По мощности донных отложений Сакского озера, которые сформировались за последние 2500 лет, сделан вывод о том, что скорость хемогенного накопления осадков снизилась по сравнению с предыдущим периодом, что свидетельствует об относительном уменьшении аридности климата [8]. Показано [4], что при использовании природных архивов для реконструкции короткопериодических изменений климата целесообразно вместо годичных значений оперировать устойчивыми временными единицами хроноорганизации природных процессов. Наиболее устойчивыми во времени периодами седиментогенеза, которые имеют климатическую обусловленность, являются периоды 10-11 лет и, связанный удвоением, – 22 года.

В данной работе проведен сравнительный анализ временного ряда Шостаковича [9] и результаты исследования колонок донных отложений (мощностью до 4,2 м) с радиоуглеродным датированием макроостатков, полученные в 2005 г. [7, 8]. С использованием метода кросскорреляционного анализа были синхронизированы варвохронологические данные по семи кернам 2005 г., в результате чего получен непрерывный ряд изменения мощности донных отложений Сакского озера.

Варвохронологические ряды, полученные из кернов донных отложений озера Саки, отражают сложный динамический палеопроцесс, который можно представить в виде суперпозиции высокочастотных (ВЧ) и низкочастотных (НЧ) гармоник различной периодичности с локальными и глобальными особенностями природной ритмики. Процессы с такой сложной хроноорганизацией целесообразно исследовать при помощи системного использования методологических подходов Вейвлет-анализа для разложения исходного ряда на ВЧ (аппроксимирующие) и НЧ (детализирующие) сигналы, а также спектрального Фурье-анализа с целью определения основных гармонических составляющих изменения мощности иловых отложений путем выделения синусоидальных компонент на различных частотах. Вейвлет-анализ обеспечивает возможность разложения сигналов функции с графиком типа маленькой волны (вейвлеты), что позволяют сконцентрировать внимание на тех или иных локальных особенностях анализируемых процессов, которые, как правило, не могут быть выявлены с помощью традиционных преобразований Фурье и Лапласа. Это дает более гибкую технику обработки сигналов, так как маленькие волны позволяют определить хорошо локализованные изменения сигнала и сохранить его основную энергию. Вейвлет-преобразования рассматривают анализируемые временные функции в терминах колебаний, локализованных по времени и частоте. Одним из основных преимуществ вейвлет-преобразований является анализ, обработка сигналов и функций, нестационарных во времени или неоднородных в пространстве, когда результаты анализа должны содержать не только частотную характеристику сигнала (распределение энергии сигнала по частотным составляющим), но и сведения о локальных координатах, на которых проявляют себя те или иные группы частотных составляющих или на которых происходят их быстрые изменения.

Непрерывное вейвлет-разложение дает возможность рассмотреть частотные уровни в совокупности и выявить основные гармоники сигнала, которые в дальнейшем можно рассматривать независимо друг от друга.

Для представления сигнала о процессе накопления иловых отложений на различных уровнях декомпозиции по данным 1894 г. [9] и 2005 г., а также с целью установления основных низкочастотных и высокочастотных гармоник нами применена функция симлет-вейвлет восьмого порядка (8sym). Представленные начальные условия разложения ряда на ВЧ и НЧ сигналы позволяют извлечь информацию об особенностях более высокого порядка, содержащихся в исходном сигнале. В качестве функции определения оптимального или квазиоптимального дерева использована энтропия (E), значение которой зависит от размерности ряда, его зашумленности и возможности реконструкции.

Разложение хронологических рядов проводили до уровня вычленения пелеотрендов, что обеспечило возможность проследить гармонические колебания различных уровней локализации с пошаговой вейвлет-фильтрацией на аппроксимирующие и детализирующие сигналы с помощью кратномасштабного анализа (КМА). Полученные результаты декомпозиции гармоник были использованы для определения ритмики процесса накопления иловых отложений в озере Саки. При определении основных периодов был удален тренд и среднее значение равно нулю. В результате одномерного дискретного преобразования Фурье-анализа выявлены основные периоды (p) формирования мощности донных отложений: 11,2 и 16,0; 44,8 и 48,9; 76,9 и 97,8; 153,7 и 179,3; 358,6 и 538,0 лет.

По результатам Вейвлет-анализа получены скалограммы (спектрограммы) в виде топографических карт по данным 1894 г. при $a = 1 \dots 2048$ и данным 2005 г. при $a = 1 \dots 512$. Это позволило выявить НЧ и ВЧ гармоники изменения мощности донных отложений различной локализации временного масштаба a . Палеогармоники при различных временных масштабах (рисунок) подтверждают высокую синхронность ритмики временных амплитуд (C , c) варвохронологических данных от 1894 г. и 2005 г. При высоких значениях временных масштабов (палеогармоники первого порядка) определены два относительных максимума и один минимум (рис. 1-а), которые определяют три синхронных временных палеопериода: I – 2800 – 1200 лет до н.э., II – 1200 до н.э. – 700 лет н.э., III – 700 – 2000 лет н.э. Двукратная локализация (палеогармоники второго порядка) временного масштаба (рис. 1-б) обеспечила возможность определить глобальные вековые максимумы и минимумы, которые приходятся на периоды: **максимумы** по данным 1894г. – 2050±100 лет до н.э., 1450±100 лет н.э.; по данным 2005г. – 2400±100 лет до н.э., 1700±100 лет н.э.; **минимумы** по данным 1894г. – 1300±100 лет до н.э., 600±100 лет н.э.; по данным 2005г. – 1500±100 лет до н.э., 650±100 лет н.э. По кернам 2005 г. определен еще один минимум (850±100 лет до н.э.), который может быть вызван перерывом в осадконакоплении, а по данным 1894 г. этот период имеет краткий периодический всплеск, который был сглажен при переходе к временному масштабу высокого порядка ($a = 1240$). Аппроксимированные гармоники ВЧ сигналов подтверждают высокое сходство двух эмпирических рядов варвохронологических данных по оз. Саки, регрессионная зависимость гармоник первого порядка описывается линейной функцией: $C_{1894} = 1,754 \cdot C_{2005} - 0,763$; $r = 0,97$; $r^2 = 0,94$; функция связи гармоник второго порядка имеет вид: $C_{1894} = 1,538 \cdot C_{2005} + 1,296$; $r = 0,69$; $r^2 = 0,47$.

Применение вейвлет-анализа обеспечило возможность преодолеть сложность зашумленного процесса накопления иловых отложений в озере Саки, выделить отдельные гармоники за вычетом палеотренда при различных масштабах вейвлет-фильтрации. Глобальные вековые минимумы и максимумы на локальном уровне исследований (временной масштаб $a = 1 \dots 100$) имеют внутривековые тренды и гармоники, которые могут и отличаться от общей направленности процесса.

С целью повышения качества кроссинхронизации гармонических составляющих в исходных данных нами проведено 11-летняя их трансформация с использованием методов оконного сглаживания Фурье: Даниэля, Тюки, Хемминга, Парзена и Бартлета. Выбор оптимального метода сглаживания проводили на основе аппроксимации лучшей корреляционной зависимости исходного и преобразованного сигнала. В двух случаях наиболее выигрышным определен метод оконного преобразования (сглаживания) Парзена, с помощью которого удалось адекватно провести реконструкцию основных 11-летних периодов в процессе накопления донных отложений в оз. Саки за 1000 лет (VI в. до н. э. – IV в. н. э.), используя оба эмпирических ряда. Это позволяет проводить хронологическую корреляцию между природной ритмикой и хорошо известными историческими и экономическими событиями в период античности Северного Причерноморья.

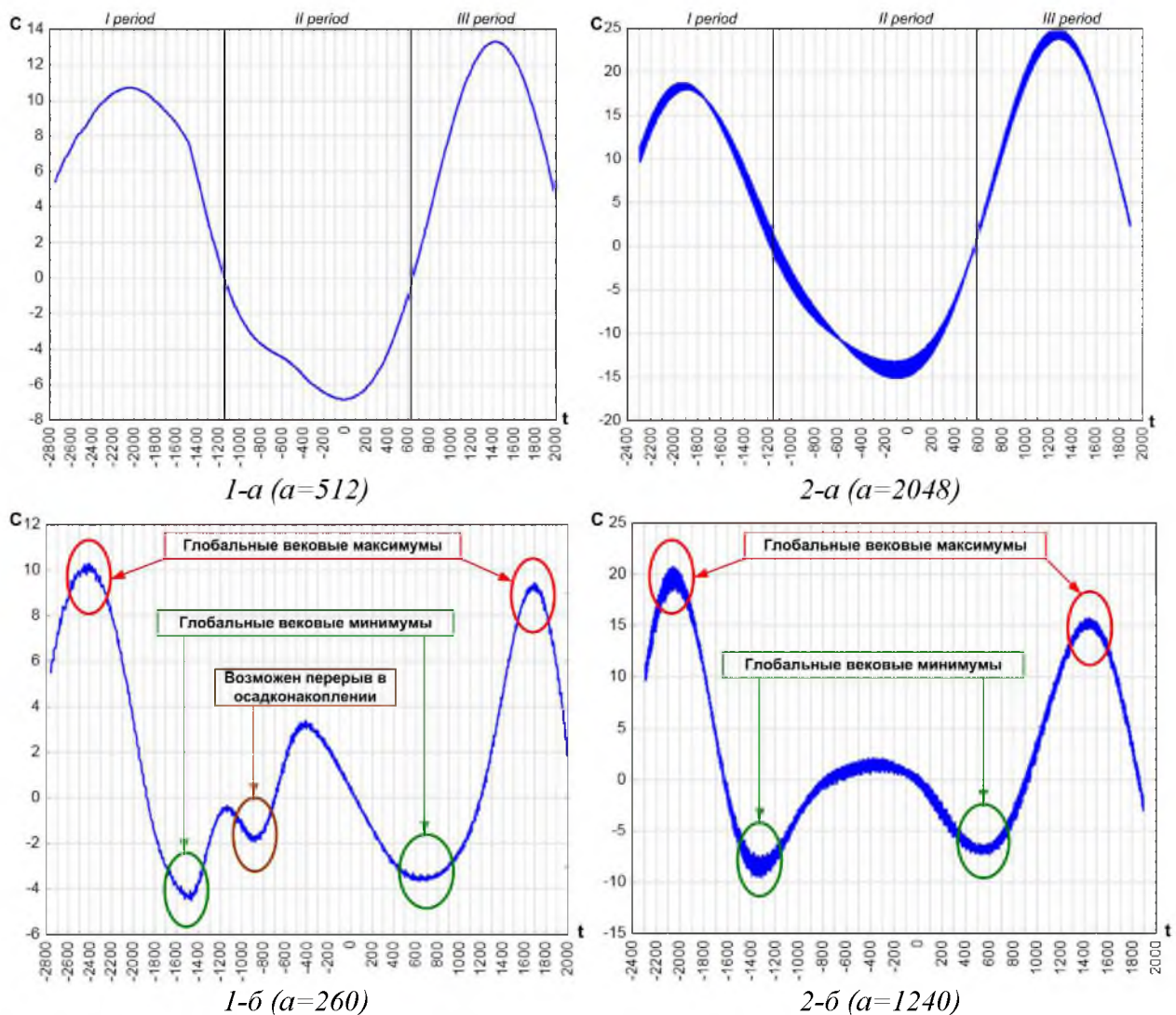


Рис. Палеогармоники изменения мощности донных отложений в Сакском озере при различных временных масштабах (*a*): 1 – данные Шостаковича [9]; 2 – данные 2005 г.; *a*, *б*) гармоники при различных временных масштабах.

Использование метода интегральных кривых модульных коэффициентов обеспечило возможность снять высокочастотные сигналы и проследить низкочастотную ритмику (палеоциклы) изменения мощности донных отложений. Первому палеоциклу соответствует период – 600 – 250 лет до н. э., второму – 250 лет до н.э. – 100 лет н.э., третьему – 100 – 400 лет н.э. На интегральной кривой экстремумы определены точками изменения направлений локальных трендов варвохронологического процесса, а локальные максимумы и минимумы находятся по центру локальных трендов. На 1000-летнем интервале временной шкалы (античная эпоха) смещения у двух временных рядов были незначительными, что подтверждает наличие в обоих массивах данных синхронного минимума (410±30 лет до н.э.) и наличие отрицательного тренда на временном отрезке 600 – 400 лет до н.э. Для второго периода характерно наличие кроссинхронных колебаний на отрезке 120 лет до н.э. – 100 лет н.э. В этот период синхронно аппроксимированы локальные тренды и максимумы (70±10 лет до н.э. и 25±20 лет до н.э.). В третьем периоде с высокой степенью коррелируют локальные тренд-циклические составляющие, которые синхронно отображают увеличение интенсивности накопления донных отложений в озере Саки (к 300 г. н.э.), после чего в этом процессе отмечен устойчивый спад.

Использование новых математических методов при анализе временных рядов природных процессов [3, 5 и др.] открывает перспективы выявления устойчивых структурных элементов их хроноорганизации. Это позволяет, применяя подходы естественных и общественных наук, провести комплексное изучение взаимодействия человека и ландшафта в диахронной перспективе, влияния климата как стабилизирующего и дестабилизирующего фактора в истории человеческого общества, а также оценить роль других природных факторов и процессов на частоту и направление миграций, на формирование системы расселения древних сообществ, на характер земледелия и землепользования, на выбор и эволюцию экономических моделей, адаптированных к условиям окружающей среды.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ-РГО № 13-05-41457.

Литература

1. Дзенс-Литовский А. И. Геологический возраст донных солевых отложений минеральных озер // Природа. – 1936. – №12. – С. 42-57.
2. Костин С. И. Колебания климата на Русской равнине в историческую эпоху // Вопросы общей и синоптической климатологии. Тр. Главной Геофизической обсерватории. – 1965. – Вып. 181. – С. 56–74.
3. Кузьменко Я. В., Лисецкий Ф. Н., Пичура В. И. Оценка и прогнозирование стока малых рек в условиях антропогенных воздействий и изменений климата / Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №6. – С. 1–9.
4. Лисецкий Ф. Н., Столба В. Ф., Пичура В. И. Периодичность климатических, гидрологических процессов и озерного осадконакопления на юге Восточно-Европейской равнины // Проблемы региональной экологии. – 2013. – №4. – С. 19–25.
5. Пичура В. И. Применение интеллектуальных искусственных нейронных сетей для прогнозирования химических показателей оросительной воды (на примере Ингулецкого магистрального канала) / Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2012. – № 2. – С. 17–28.
6. Понизовский А. М. Соляные ресурсы Крыма. – Симферополь, 1965.
7. Столба В. Ф., Субетто Д. А., Сапелко Т. В., Кузнецов Д. Д., Лудикова А. В. Палеолимнологические исследования соляных озер Западного Крыма // Археологические открытия 2005 года / Ин-т археологии РАН. – М.: Наука, 2007. – С. 560–562.
8. Субетто Д. А., Сапелко Т. В., Столба В. Ф. Исследования палеолимнологов в Крыму // Природа. – 2007. – № 12. – С. 61–62.
9. Шостакович В. Б. Иловые отложения Сакского озера как летописи климата // Саки-Курорт. Вып. 1. – Симферополь, 1935. – С. 255–272.

УДК 502.7 + 521.9

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ КАК ОБЪЕКТ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Стурман В.И.

Государственная полярная академия, г. Санкт-Петербург, Россия

Природопользование подразумевает как деятельность по использованию природно-ресурсного потенциала, включая всю систему отношений между человеческим обществом и природной средой, так и комплексную научную дисциплину – учение об общих принципах и методах использования природных ресурсов и условий, включая анализ воздействия человека на природу и последствий этого воздействия для человека.