

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИБРЕЖНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТАВРИЧАНСКОГО ЛИМАНА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 7100 КАЛ. ЛЕТ

Белянин П.С., Белянина Н.И.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

Аннотация. При комплексном изучении верхнего 600-сантиметрового слоя донных осадков оз. Утиное, реконструирована эволюция прибрежной растительности Тавричанского лимана за последние ~7100 кал. л. Установлено, что в оптимальную фазу оптимума голоцена на прибрежных хребтах были распространены полидоминантные леса с более богатым, чем в настоящее время, видовым составом. Растительность предгорных равнин была представлена осоково-разнотравными лугами. Позднеголоценовый этап характеризовался понижением среднегодовых температур и рядом климатических изменений. Его начало ознаменовалось похолоданием, в ходе которого прибрежные низменности освободились от морских вод. Ухудшение климата привело к распространению темнохвойных и мелколиственных растений в долинах Тавричанского лимана, и к сокращению распространения полидоминантных лесов. На равнинах были развиты осоковые луга, иногда встречались заросли *Betula grandulosa* и сфагновые болота. В конце позднего голоцена вновь началось потепление. В горном обрамлении Тавричанского лимана получили распространение растительные формации с доминированием *Quercus mongolica*, *Quercus dentata*, *Abies holophylla*, *Pinus koraiensis* с присутствием берез. Возросло распространение *Pinus densiflora*, *Ulmus*, *Carpinus cordata* и *Acer*. На равнинах преобладали осоково-тростниковые луга с разнотравьем.

Ключевые слова: спорово-пыльцевой анализ, радиоуглеродное датирование, юг Дальнего Востока России, климатические изменения, климатический оптимум голоцена, поздний голоцен

EVOLUTION OF THE COASTAL VEGETATION IN THE TAVRICHANSKIY LIMAN SINCE THE 7100 CAL BP

Belyanin P.S., Belyanina N.I.

The Pacific Geographical Institute of the FEB RAS

Annotation. Based on the on the palynological analysis and radiocarbon dating of the of the upper 600-centimeter layer of bottom sediments of Lake Utinoe, the evolution of the vegetation in the Tavrichansky Liman over the past ~7100 cal BP was reconstructed. It is found that broad-leaved plants in the mid-Holocene Thermal Maximum on the coastal slopes of the Tavrichansky Liman were more widespread and characterized more rich composition what the present time. Vegetation of the foothill plains was represented with sedge and mixed grass meadows. The Late Holocene stage was characterized by a decrease in average annual temperatures and series of climatic changes. Its beginning was marked by the cooling, during which the coastal lowlands were freed from sea waters. Climate deterioration caused expansion of dark coniferous and small-leaved plants in the Tavrichansky Liman, as well as reduction of polydominant forests. On the plains near the coast of the Tavrichansky Liman sedge meadows were developed, sometimes there were thickets of *Betula grandulosa* and *Sphagnum* swamps. At the end of the Late Holocene the warming occurred again. On the mountain frame of the Tavrichansky Liman, the vegetation formations with the dominance *Quercus mongolica*, *Quercus dentata*, *Abies holophylla*, *Pinus koraiensis* with the presence of birches began to dominate. The dissemination of *Pinus densiflora*, *Ulmus*, *Carpinus cordata* and *Acer* has increased. On the plains the sedge-reed and mixed grass meadows dominated.

Keywords: spore-pollen analysis, radiocarbon dating, of the south of the Russian Far East, climatic changes, mid-Holocene Thermal Maximum, Late Holocene

Введение. Климатические изменения во время голоцена привели к крупномасштабным глобальным миграциям растений. Наиболее ярко выраженными они были на юге Дальнего Востока России. Этот регион расположен на стыке Маньчжурской, Амурской и Северо-Китайской флористических провинций, в северной области Китайско-Японской флористической области – наиболее самой богатой видами области Голарктики. Он характеризуется высоким эндемизмом флоры, включающей множество эндемичных видов [10]. Ареалы растений тропического, субтропического и умеренного поясов Восточной Азии перекрываются ареалами элементов флоры Восточной Сибири. Некоторые растения флоры этого региона произрастают вблизи северной границы ареала, в экстремальных климатических условиях для развития [13]. Поэтому это ключевой регион для изучения влияния климатических колебаний на эволюцию растительности в прошлом.

Пыльцевые летописи являются эффективным инструментом для реконструкции пространственно-временных изменений структуры растительности. Спорово-пыльцевой анализ отличается точностью и возможностью соотнесения палеоботанических результатов с другими регионами, относительной простотой получения данных и стабильностью расчета результатов. Имея даже небольшое число радиоуглеродных дат по разрезу, можно получить надежные данные, позволяющие реконструировать эволюцию растительности региона в прошлом. Целью настоящей работы является реконструкция эволюции растительности в прибрежных экосистемах бассейна Тавричанского лимана в среднем и позднем голоцене.

Материалы и методы. Тавричанский лиман представляет собой залив, расположенный в кутовой части Амурского залива. С севера в него впадает р. Раздольная. Пыльцевая летопись, описывающая историю растительности в бассейне Тавричанского лимана, была получена из донных отложений оз. Утиное (43°22'34.07" с.ш., 131°45'17.62" в.д.), расположенного в 6 км выше устья р. Раздольной (рис. 1). Абсолютная высота зеркала озера над уровнем моря составляет 0,3 м.

В ходе работ Российско-Американской экспедиции «Paleoenvironmental Arctic Sciences» в 2000 г. на акватории оз. Утиное (с плавучей платформы на катамаране было выполнено бурение скважины. Бурении на акватории озера осуществлялось с плавучей платформы на катамаране с использованием поршневого пробоотборника системы Ливингстон [18]. Керн извлекался секциями длиной 1 м и диаметром 5 см. В случае высокой плотности осадков извлекали короткие участки керна. Отбор проб через каждые 5-10 см проводился к.г.н. А.В. Ложкиным, П.М. Андерсон, Л.Б. Брубейкер и Е.В. Митюревой.

Спорово-пыльцевому анализу были подвергнуты 22 образца, отобранных из керна через 10 см. Лабораторные пробы подготовлены для анализа по стандартной методике [4] с применением 10% раствором гидроксида калия (KOH), йодида калия (KI) и йодида кадмия (CdI₂) (2,2 г/см³). Для идентификации, фотодокументирования и подсчета пыльцы и спор были задействованы оптический микроскоп Zeiss Axio Scope.A1 и камера Zeiss AxioCam ICc1. Визуализированные микрофоссилии определялись по возможности до вида, их слабо идентифицируемые различия – до рода или семейства. В каждой пробе подсчитывали не менее 250 пыльцевых зерен древесных, кустарничков и трав. Идентификацию пыльцевых зерен проводили с помощью пыльцевых атласов [4; 13].

Доля каждого таксона рассчитывалась в процентах от суммы пыльцы древесных таксонов, кустарничков и трав. Латинские названия даны по данным Plants of the World Online [15]. Результаты палинологического анализа представлены в виде диаграмм с использованием программы Tilia v. 2-0-41 [11].

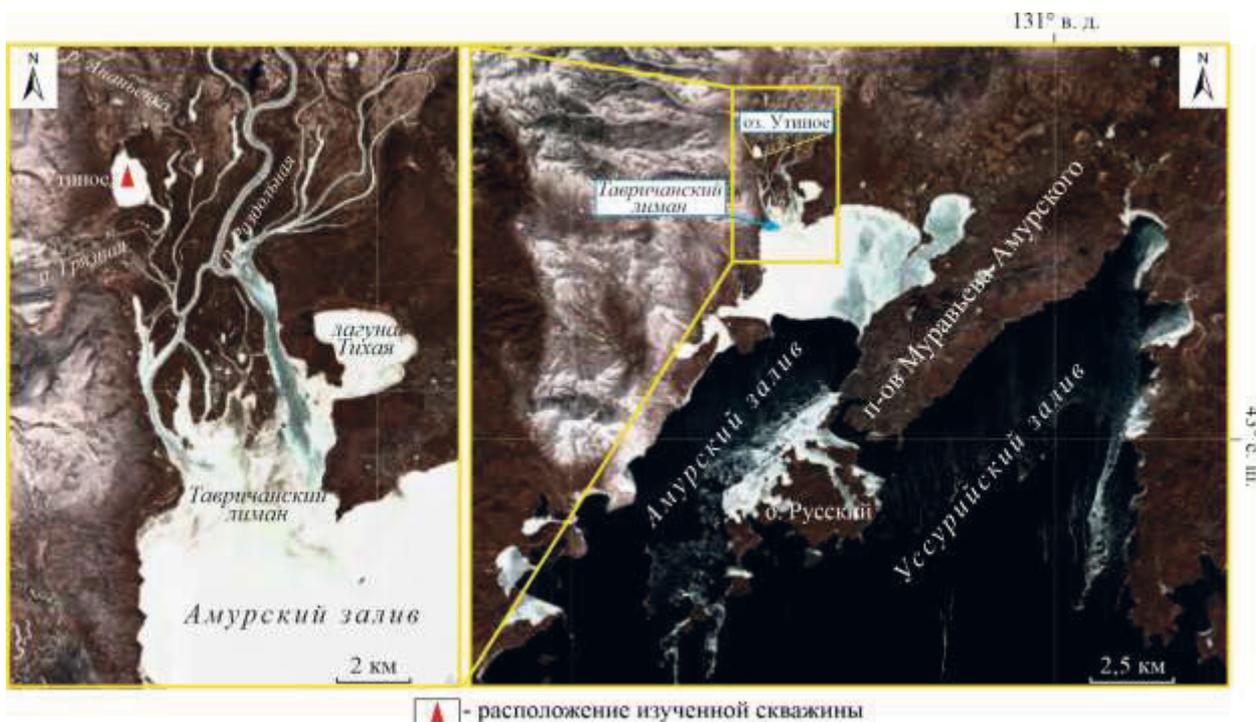


Рис. 1. Схема района работ и расположения изученной скважины

Датирование радиоуглеродным методом выполнено в Центре ускорительной масс-спектрометрии Лауренс Ливермор Национальной лаборатории Департамента Энергии Калифорнийского университета. Перевод радиоуглеродных дат в календарные сделан по программе OxCal 4.4 с использованием калибровочной кривой «IntCal 20» [16] (табл. 1). Возрастная модель разреза построена в среде R [17], в программе Бэкон [6]. Возраст приведен в календарных значениях.

Таблица 1
Радиоуглеродный и калиброванный возраст донных отложений оз. Утиное

Глубина, м	Датированный материал	Номер лаборатории (CAMS)	Радиоуглеродный возраст, л. н.	Календарный возраст, кал. л. н.
4,71-4,68	древесина	73295	5000±80	5765±100
3,47-3,45		76800	3920±40	4355±60
2,46-2,45	растительный детрит	75544	3890±40	4330±65
2,23-2,21		76799	2510±60	2590±110
1,30-1,27	древесина	76798	1810±60	1735±80

Результаты и их обсуждение. Керн донных осадков оз. Утиное длиной 6,15 м на основании визуального исследования разделен на 8 литологических единиц (табл. 2). Среди них преобладают алевриты (слои 6-2) и илы (слои 7 и 8). В кровле скважины залегает пачка супеси алевритистой серой, с желто-коричневым песком. Ил в интервале глубин 615-570 см (слои 8 и 7) включает морскую ракушку. В интервале глубин 106-75 см (слои 5-3) характерно присутствие растительного детрита и черной органики.

Литология донных отложений оз. Утиное

Литологические единицы	Интервал глубин, см	Описание отложений
1	25-0	супесь алевритистая серая, с желто-коричневым песком
2	55-25	алеврит коричнево-серый, слюдистый
3	75-55	алеврит темно-серый слюдистый, с органикой
4	87-75	алеврит темно-серый слюдистый, с тонкими прослоями коричневой супеси
5	106-75	алеврит светло-серый слюдистый с растительным детритом и следами ожелезнения
6	260-106	алеврит темно-серый
7	570-260	ил черно-коричневый
8	615-570	ил с ракушкой

Возрастная модель, построенная по 5 радиоуглеродным датировкам (рис. 2), позволила оценить возраст основания скважины в 7130 кал. л. н. лет (рис. 2). Скорости накопления донных осадков до 3425 кал. л. была стабильной, составляя около 0,13 мм/год. 2275-1507 кал. л. н. она уменьшилась до 0,11 мм/год, а с 1507 кал. л. по настоящее время сократилась до 0,05 мм/год.

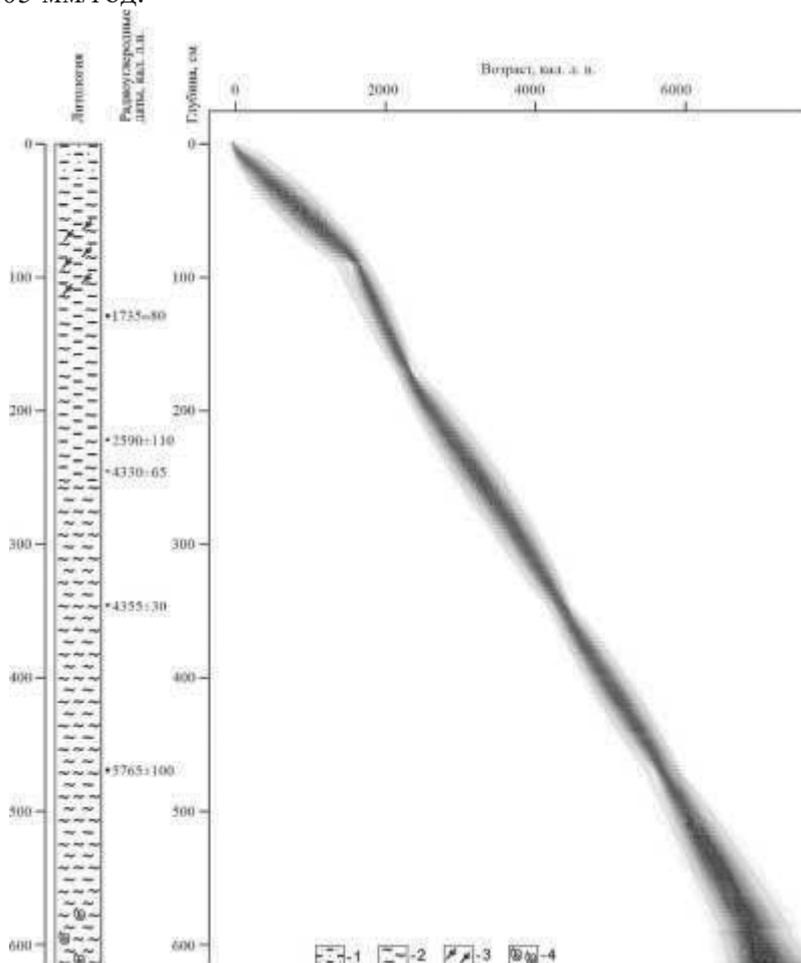


Рис. 2. Возрастная модель скорости накопления донных отложений оз. Утиное. 1 – супесь алевритистая с песком, 2 – ил, 3 – растительный детрит, 4 – морская ракушка.

Пыльцевые комплексы из интервала глубин 6,2-3,6 м свидетельствуют о том, что полидоминантные леса с *Quercus*, *Tilia*, *Carpinus cordata* и *Betula schmidtii* были широко распространены в долинах Тавричанского лимана в среднем голоцене. Род *Quercus* был представлен двумя видами: *Quercus mongolica* и *Quercus dentata*. В настоящее время, граница сплошного ареала *Quercus dentata* проходит в ~50 км южнее. Заметно увеличилось распространение *Pinus koraiensis* и *Pinus densiflora* в растительных формациях [5]. Аналогичные материалы ранее были получены Ю.А. Микишин и др. [2] и Б.И. Павлюткин и Н.И. Белянина [3].

В результате смещения границ флористических провинций к северу, в бассейне Тавричанского лимана произрастало больше широколиственных растений, чем в настоящее время. В настоящее время, современные ареалы некоторых из них, которые приурочены к Северо-Китайской флористической провинции. Так, пятипоровые пыльцевые зерна *Carpinus*, обнаруженные в отложениях среднеголоценового термического максимума, свидетельствуют о том, что в бассейне оз. Утиное помимо *Carpinus cordata* был распространен еще один вид из этого же рода. Стоит отметить, что сейчас южнее 40° с.ш. в Корее и Северо-Восточном Китае род *Carpinus* включает семь видов [8], род *Quercus* 11 видов [7], а род *Pinus* шесть видов [9].

Позднеголоценовый этап развития растительности сопровождался понижением среднегодовых температур. Изменения растительности были волнообразными из-за колебаний климата. Начало этого этапа фиксируется по небольшому уменьшению пыльцы широколиственных видов. Глобальное похолодание вызвало распространение темнохвойных и мелколистных растений. На равнинах появились кустарниковые березы и возникли сфагновые болота. Однако в середине позднего голоцена имело место и кратковременное потепление. Отмечается увеличение содержания пыльцы *Quercus*, *Ulmus*, *Pinus koraiensis*, *Juglans mandshurica*, *Carpinus* и *Abies holophylla*. На равнинах были широко распространены осоково-разнотравно-тростниковые луга.

Небольшое увеличение количества пыльцы мелколистных растений и уменьшение количества широколиственных видов вверх по скважине, что отражает очередное похолодание.

Еще одно кратковременное потепление, соответствующее Средневековой климатической аномалии, фиксируется в интервале глубин 0,5-0,3 м. В пыльцевых комплексах отмечается высокое разнообразие широколиственных таксонов, включая теплолюбивые – у *Carpinus cordata*, *Ulmus*, *Juglans mandshurica*, *Phellodendron*, *Fraxinus*, *Syringa*, *Pinus densiflora*, *Abies holophylla* и др.

Выводы. Полученные палинологические данные позволили реконструировать эволюцию растительности бассейна Тавричанского лимана за последние ~7100 кал. л. Широкое распространение полидоминантных лесов с *Pinus densiflora* и *Pinus koraiensis* в горном обрамлении Тавричанского лимана произошло в термического максимум среднего голоцена. На прибрежных хребтах были распространены полидоминантные леса с более богатым, чем в настоящее время, видовым составом. По-видимому, в их число вошли растения, современные ареалы которых охватывают север о-ва Хонсю и юг о-ва Хоккайдо [14], Корейский п-ов южнее 40° с.ш. [12] и восточные районы Маньчжурии. Некоторые роды были представлены более богатым видовым разнообразием. В конце среднего голоцена и на первом этапе позднего голоцена в связи с похолоданием сократилось распространение широколиственных растений – *Phellodendron*, *Tilia*, *Carpinus*, *Juglans* и других. Расширились площади мелколиственных лесов с *Picea*, *Pinus koraiensis*, *Alnus*, *Duschekia* и *Betula*. На равнинах появились кустарниковые берёзы, появились сфагновые болота. Кратковременное потепление в середине позднего голоцена привело к расширению ареала растительных формаций с доминированием *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, *Quercus mongolica*, *Abies* и *Betula*. Однако последовавшее затем небольшое похолодание вызвало распространение

мелколистных растений. Образовались смешанные леса с *Pinus koraiensis*, *Pinus densiflora* и *Abies*.

Литература

1. Андерсон П.М., Белянин П.С., Белянина Н.И., Ложкин А.В. Эволюция растительности западного побережья залива Петра Великого в позднем плейстоцене–голоцене. Тихоокеанская геология, 2017. Т. 36. № 4. С. 206-215.
2. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Средний-поздний голоцен острова Русский (Южное Приморье). Фундаментальные исследования, 2014. № 3. С. 516-522.
3. Павлюткин Б.И., Белянина Н.И. Четвертичные отложения Приморья: результаты систематизации и перспективы изучения. Тихоокеанская геология, 2002. Т. 21. № 3. С. 80-93.
4. Покровская И.М. Пыльцевой анализ. Москва: Госгеолиздат, 1950. 571 с.
5. Belyanin P.S., Belyanina N.I. The late Pleistocene and Holocene history of *Pinus koraiensis* (Korean pine) in the south of the Russian Far East based on palynological data. Acta Palaeobotanica, 2021. Vol. 61. № 2. P.148-170.
6. Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. Bayesian Analysis, 2011. Vol. 6. P. 457-474.
7. Chang C.S. Fagaceae. In The Genera of Vascular Plants of Korea. Seoul: Flora of Korea Editorial Committee (ed.), Academy Publishing Co., 2007. P. 268-274.
8. Chang C.S., Jeon J.I. Betulaceae. In The Genera of Vascular Plants of Korea (Korean ver.). Seoul: Flora of Korea Editorial Committee (ed.), Hongrung Publishing Co., 2018. P. 364-376.
9. Farjon, A. 2010. A Handbook of the World's Conifers (two vols.). Brill Academic Publishers, Leiden, The Netherlands, 1150 pp.
10. Good R. The Geography of the Flowering Plants. London: Longman Higher Education, 1974. 574 pp.
11. Grimm E. Tilia software 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum Research and Collection Center, 2004.
12. Lee T.B. Illustrated flora of Korea. Seoul: Hyangmunsa, 1980.
13. Nakamura J. Diagnostic characters of pollen grains of Japan, Part I. Special Publications from the Osaka Museum of Natural History, Osaka, Japan, 1980. Vol. 13. P. 1-91.
14. Ohwi J. Flora of Japan. Switsonian Institute, Washington, 1965. 1067 pp.
15. POWO 2023. Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Available from: <http://www.plantsoftheworldonline.org/> Last accessed 24.05.2023
16. Reimer, P., Austin, W., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R., Friedrich, M., Grootes, P., Guilderson, T., Hajdas, I., Heaton, T., Hogg, A., Hughen, K., Kromer, B., Manning, S., Muscheler, R., Palmer, J., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R., Richards, D., Scott, E., Southon, J., Turney, C., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S., FogtmannSchulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A., Talamo, S., 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). Radiocarbon, 62(4), 725–
17. R Core Team 2017: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.R-project.org/757>. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41/>.
18. Wright H.E., Mann D.H., Glaser P.H. Piston corers for peat and lake sediments. Ecology, 1984. Vol. 65. P. 657-659.