

DOI: 10.17746/1563-0102.2017.45.4.082-092
 УДК 903.53 + 551.8 + 631.4

**М.Е. Килуновская¹, В.Е. Приходько², Т.А. Бляхарчук^{3, 4},
 В.А. Семенов¹, В.О. Глухов¹**

¹Институт истории материальной культуры РАН
 Дворцовая наб., 18, Санкт-Петербург, 191186, Россия

E-mail: kilunmar@mail.ru; ranbov@yandex.ru; irok-z@yandex.ru

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
 Институтская, 2, Пушкино, 142290, Россия

E-mail: valprikhodko@rambler.ru

³Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
 пр. Академический, 10/3, Томск, 634055, Россия

E-mail: tarun5@rambler.ru

⁴Национальный исследовательский Томский государственный университет
 пр. Ленина, 36, Томск, 634050, Россия

Комплексное исследование курганов и реконструкция климата Турано-Уюкской котловины Тувы скифского времени

Проведено комплексное исследование скифского могильника Белое Озеро-3 в Турано-Уюкской межгорной котловине на территории Республики Тыва (Южная Сибирь). Согласно радиоуглеродному датированию древесины четыре его кургана возведены 2 565–2 390 (калиброванные даты, 1σ) или 2 465–2 380 (некалиброванные) л.н. Установлено, что в четырех курганах сложной конструкции с захоронениями в срубках над валиком выкида и на периферийном кольце лежали камни, в кург. № 3, окруженном рвом, – плиты, в кург. № 4 – сооружена дополнительная насыпь. Вскрыто 12 744 м² межкурганного пространства с 38 поминальными выкладками. Найдены фрагменты золотых фигурок различных животных, керамика, наконечники стрел, принадлежавшие уюкской культуре. По палинологическим данным определено, что в период строительства первых двух курганов некрополя климат был немного влажнее, чем современный, при сооружении еще одного кургана через 95 лет появились признаки засушливости климата, а во время, соответствующее заключительной фазе строительства некрополя, началось увлажнение. О смене экологических условий прошлого свидетельствует динамическое изменение количества и состава пыльцы экологических групп растений: ксерофитов, мезофитов, гидрофитов и рудералов. Сухостепные сообщества преобладали над мезофитными, гидрофитная растительность и листовничники росли у водоемов. Отмечались динамическое изменение антропогенного прессинга на ландшафт и его усиление в начальную и заключительную фазы создания некрополя в уюкское время. Фоновые и древние почвы имеют большое сходство свойств. Это свидетельствует об отсутствии существенных изменений палеоклимата в период строительства некрополя и его близости к современной природной обстановке.

Ключевые слова: реконструкция палеоклимата, палинологический анализ, радиоуглеродное датирование, палеопочва, скифские курганы.

**M.E. Kilunovskaya¹, V.E. Prikhodko², T.A. Blyakharchuk^{3, 4},
 V.A. Semenov¹, and V.O. Glukhov¹**

¹Institute for the History of Material Culture, Russian Academy of Sciences,
 Dvortsovaya nab. 18, St. Petersburg, 191186, Russia

E-mail: kilunmar@mail.ru; ranbov@yandex.ru; irok-z@yandex.ru

²*Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science,
Russian Academy of Sciences,
Institutskaya 2, Pushchino, 142290, Russia,
E-mail: valprikhodko@rambler.ru*

³*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Pr. Akademicheskyy 10/3, Tomsk, 634055, Russia
E-mail: tarun5@rambler.ru*

⁴*National Research Tomsk State University,
Pr. Lenina 36, Tomsk, 634050, Russia*

A Multidisciplinary Study of Burial Mounds and a Reconstruction of the Climate of the Turan-Uyuk Depression, Tuva, During the Scythian Period

This article presents the results of a multidisciplinary study of Beloye Ozero-3—an early nomadic cemetery in the Turan-Uyuk intermountain trough in Tuva, southern Siberia. The radiocarbon analysis of wood from four of its mounds suggests that they were constructed 2565–2390 (calibrated, 1σ), or 2465–2380 (uncalibrated) years ago. In four mounds with a complex construction, burials in timber frames, spoil heap, and the peripheral ring were overlaid by stones. In the third mound, there were stone slabs and the mound was encircled by a ditch. The construction of the fourth mound proceeded in two stages. A total of 12,744 m² of space between the mounds was excavated, and 38 pavements for funerary repasts were found. Fragments of gold figurines of various animals, ceramics, and arrowheads can be attributed to the Uyuk culture. Results of the palynological analysis suggest that during the construction of the first two mounds, the climate was slightly wetter than the present one. When, 95 years later, the third mound was constructed, the climate became more dry. Before the final stage in the construction of the necropolis, humidization began. Environmental changes are evidenced by fluctuations in the amount and composition of pollen of plants adapted to various ecological niches: xerophytes, mesophytes, hydrophytes, and ruderals. Dry-steppe communities prevailed over mesophytic ones. Hydrophytic vegetation and larch grew near the water bodies. The anthropogenic pressure on landscape increased during the early and final stages of the necropolis, corresponding to the Uyuk culture. Background and ancient soils are largely similar, indicating relative stability of climate during the construction of mounds and its proximity to the modern climate.

Keywords: *Paleosols, palynological analysis, radiocarbon dates, Early Iron Age, burial mounds.*

Введение

Изучение археологических памятников позволяет получить информацию о хозяйствовании и погребальном укладе разных этносов, об изменении древних почв и растительности по сравнению с современными фоновыми аналогами, на основе которой возможно реконструировать природную обстановку в прошлом. Сведений о природных условиях голоцена и их хронологии для Тувы немного. Так, для Турано-Уюкской котловины в Туве дана характеристика климата голоцена, базирующаяся на результатах палинологического изучения колонки отложений Белого озера [Дирксен, Чугунов, 2007]. Имеются палеопалинологические данные для более высокогорных районов Алтае-Саянского региона [Ямских, 1983, 1995; Чистяков и др., 1997; Blyakharchuk et al., 2007; Blyakharchuk, Chernova, 2013]. Археологи изучали исторические памятники на территории планируемого строительства в Туве железной дороги Элегест – Кызыл. Цель нашей работы – проведение комплексного изучения скифских курганов этого региона для выявления особенностей погребального обряда, реконструкции климатических и ландшафтных условий прошлого на основании материалов почвенных и палинологических исследований.

Объекты и методы исследования

Могильник Белое Озеро-3, исследованный в 2013 г., находится в Долине Царей в Турано-Уюкской котловине, в 5 км от пос. Аржан, в 83 км от г. Кызыл в Пий-Хемском кожууне Республики Тыва (координаты памятника: 52°04,458' с.ш.; 93°44,092' в.д., высота 840 м над ур. м.) (см. рисунок). Долина протяженностью 80 км, шириной 30–40 км окружена Куртушибинским и Уюкским хребтами Западного Саяна. Здесь располагается заболоченная депрессия с несколькими солеными озерами, каждое из которых называется Белое. Уюк и Туран – основные реки региона – относятся к бассейну р. Енисей. Климат котловины резко-континентальный, среднегодовая температура воздуха составляет –3,0 °С, января достигает –34,9 °С, июля – 16,9 °С. Здесь ежегодно выпадает 330 мм атмосферных осадков, из них 70 % – летом (по данным метеостанции г. Туран).

Основная часть почв котловины относится к степному криоаридному типу; преобладают черноземы южные и темно-каштановые почвы [Носин, 1963; Волковинцер, 1978]. До начала 1990-х гг. территория вокруг курганов распахивалась, сейчас используется как пастбище. На этих угодьях распространены пырей (*Elytrigia repens*), змеевка (*Cleistogenes*



Расположение некрополя Белое Озеро-3 (1) и кургана Аржан-2 (2).

squarrosa), осока (*Carex duriuscula*), вьюнок (*Convolvulus arvensis*), лапчатка (*Potentilla bifurca*), полыни (*Artemisia scoparia*, *A. frigida*), щетинник зелёный (*Setaria viridis*), марь белая (*Chenopodium album*), карагана карликовая (*Saragana rugmaea*) и др. За прошедшее время после распашки растительные сообщества не успели восстановиться ввиду значительной пастбищной перенагрузки (из-за близости к стоянке чабанов) и недостаточного периода реабилитации. По долинам рек встречаются остепненные леса из березы, тополя и ив. Нижнюю часть лесного пояса окружающих хребтов занимают лиственничные, березовые, еловые и сосновые леса [Куминова, 1983; Дубровский и др., 2014].

Использование почвенно-археологического подхода предполагает сравнение свойств палеопочв, погребенных под археологическими памятниками, с их современными фоновыми аналогами. Проводится также спорово-пыльцевой анализ этих почв. Такие сопряженные исследования позволяют получить более полные сведения для реконструкции изменения палеоэкологических условий во времени и пространстве [Чистяков и др., 1997; Приходько и др., 2014; Чендев и др., 2016; Gerasimenko, 1997].

Нами изучены морфологические особенности двух фоновых и четырех погребенных почв: наличие солонцеватости, засоленности и новообразованных карбонатов, гипса и легкорастворимых солей, их глубина залегания, формы и состав. Образцы почв отбирали послойно через 10 см до глубины 1 м и через 20 см – из толщи 1–2 м. На палинологический анализ взяты пробы из поверхностного слоя 0–2 см палеопочв из четырех курганов, здесь же были отобраны образцы палеопочв через 0–10 см до глубины 30 см на почвенные анализы. На площадке взяты пять образцов фоновой почвы с глубины 0–10 см.

Анализы проводились в Центре коллективного пользования Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН общепринятыми методами: $C_{орг}$ – по Тюрину, pH – по-

тенциметрически (почва : вода = 1,0 : 2,5), CO_2 карбонатов – титриметрически, гранулометрический состав – пирофосфатным методом, состав обменных катионов – по Шолленбергеру, подвижный фосфор и калий – по Мачигину [Воробьева, 1998]. Радиоуглеродный анализ древесины из погребенных проведен в радиоуглеродной лаборатории Института истории материальной культуры РАН (руководитель Г.И. Зайцева). Для калибровки данных использовали программу: [Stuiver, Reimer P.J., Reimer R., 2005]. Выделение пыльцы и спор из слоя 0–2 см палеопочв проведено в Киеве под руководством д-ра геогр. наук, проф. Н.П. Герасименко по описанной методике [Gerasimenko, 1997]. Образцы почв (100 г) последовательно обработаны соляной кислотой (HCl, 10 %), пирофосфатом натрия (15 %), повторно соляной кислотой (HCl, 10 %), гидроксидом калия (10 %) и фтористоводородной кислотой (40 %). Сепарация палиноморф из осадка проведена с использованием тяжелой жидкости ($CdI_2 + KI$) с удельным весом 2,2 г/см³.

Спорово-пыльцевой анализ выполнен Т.А. Бляхарчук на световом микроскопе при увеличении в 400 раз. Раздельно для неспорных и спорных растений проведена оценка по экологическим группам: ксерофитные, мезофитные, гидрофитные, ксерогидрофитные и рудеральные [Куминова, 1983]. Для Тувы злаки отнесены в группу мезофитов, а не степных растений, т.к. содержание их пыльцы повышено в более влажных местообитаниях высокогорий и степей региона, по сравнению с более сухими степями [Blyakharchuk, Chernova, 2013]. Множественность экологических ниш плаунка (*Lycopodiella inundata*) позволяет причислить его к мезофитам, гидрофитам и рудералам. Для Тувы плаунок отнесен к рудералам, потому что он хорошо разрастается на нарушенных и переувлажненных почвах по берегам озер и ручьев. Спирея (*Spirea alpina*) и карликовая березка, формирующие заросли в высокогорьях Тувы, включены в группу мезофитов.

Результаты археологических исследований

Исследуемые курганы по конструкции и погребальному обряду отличаются друг от друга. Они состоят из насыпи высотой 50–90 см, сложенной из камней и гумусового супесчаного материала, и валика выброса из центрального захоронения, который представлен супесью красноватых оттенков. По краю наземного сооружения трех курганов имеется кольцо-крепида из крупных камней. В кург. № 3, опоясанном неглубоким рвом, вместо камней уложены крупные плиты. Ближе к краю насыпи находятся более крупные камни, в центре кургана они отсутствуют. В кург. № 4 вначале

насыпали слой почвы, а потом выкопали могильную яму и над ней соорудили земляную насыпь, которую облицевали камнями.

Валики выброса высотой 50–80 см укрыты камнями, сложенными в один-два слоя. В них зафиксированы сопроводительные захоронения, в основном детские. В кург. № 1 было детское захоронение в каменном ящике. В валике выброса кург. № 3 находилось одно захоронение в деревянном срубике и четыре в каменных ящиках. В кург. № 4 обнаружено захоронение-кенотаф в каменной выкладке, возможно, имитация захоронения ребенка или послета. Кроме того, под валиком выброса и около кольца ограды найдены небольшие каменные треугольники – ритуальные захоронения, которые у тувинцев и хакасов, по этнографическим наблюдениям, являются захоронениями послета. Вокруг курганов отмечены ритуальные кольцевые каменные выкладки.

Дромосы, прорезающие валик выброса в юго-западном направлении, зафиксированы в кург. № 4 и в северо-западном направлении – в кург. № 3. Возможно, это были грабительские или подхоронительные ходы. В кург. № 4 дромос тянулся до перекрытия сруба и был заполнен камнем.

Погребальные ямы имели прямоугольную форму, глубину ок. 4 м, ориентированы углами по странам света. Ямы над срубом заполнены темно-серым материалом, ближе к стенкам – красной супесью. В центральной яме кург. № 4 (возможно, кург. № 1) на глубине 2 м была сделана приступка, на которой уложены дополнительная деревянная рама и перекрытие, характерные для ранней уюкско-алдыбельской традиции. В ямах находились срубы, перекрытые полубревнами или лагами в несколько слоев. Перекрытие и пол из деревянных досок лежали в направлении СЗ – ЮВ. В кург. № 2 и 3 между верхним и нижним слоями перекрытия проложена береста, в кург. № 3 береста лежала и на верхнем венце сруба. В нижних бревнах перекрытия сделаны вырубывы для их крепления на бревнах сруба. Зафиксировано 15 бревен длиной ~ 3 м, шириной ~ 0,2 м.

Срубы высотой ок. 1 м сложены из бревен в три-четыре венца в обло и ориентированы углами по странам света. Их внешние размеры 3 × 3 м, внутренние – 2,5 × 2,5 м. В нижнем венце срубов сделаны вырубывы, в которые вставлялись доски пола. Под досками в некоторых местах была сделана подсыпка для выравнивания пола.

Количество погребенных и их поза не установлены, т.к. все захоронения разграблены. Все перекрытия проломлены в центре, вероятно, грабителями для проникновения в ямы. Только в кург. № 1 на северо-западном и юго-восточном краях центральной могилы обнаружены остатки скелетов, извлеченных со дна центральной могилы и уложенных на деревянные по-

мосты. В кург. № 2 внутри центральной могилы были захоронены мужчина и ребенок, скорее всего, после разграбления. Погребения могли носить жертвенный характер.

Материал из погребений представлен в основном фрагментами золотых нашивок на одежду в виде фигурок грифонов, горного козла, льва, типичных для уюкской культуры. Наборный пояс на кожаной основе с бронзовыми обоймами является атрибутом алды-бельской культуры. Наконечники стрел из кости и бронзы с укороченным бойком и длинным черешком соответствуют ранним периодам скифского времени Тувы.

В ритуальных кольцевых выкладках обнаружена керамика скифского облика. Она представлена сосудами баночной формы двух типов – красноглиняного и сероглиняного, с выделенными венчиками и налестками с насечками под валиками. Такие сосуды характерны в основном для алды-бельской культуры. В насыпи кург. № 4 найден средневековый клад – полностью сохранившийся доспех типа бригандины.

Все исследованные погребальные комплексы имеют черты, соответствующие уюкской культуре скифского времени.

Результаты палинологического исследования

Для характеристики современной растительности взяты опубликованные спорово-пыльцевые данные двух почв, отобранные в 2 км от рассматриваемого участка [Дирксен, Чугунов, 2007]. Количество спор определено как разность между 100 % и суммой пыльцы древесной и травяной групп (табл. 1). В общем составе пыльцевых спектров современной почвы травы и кустарнички составляют 78 %, древесные – 22, в т.ч. пыльцевые зерна сосен (*Pinus sibirica* и *P. Sylvestris*, их не разделяли) – 9, пихты (*Abies sibirica*) и лиственницы (*Larix*) – 2, ели (*Picea obovata*) – менее 1 %. Среди травяного покрова преобладает пыльца полыни – 36 и 41 %, злаки и осоки составляют по 7 и 16, маревые – 3 и 5, эфедра и астровые – по 1 и 3 %.

В каждом образце палеопочв определялось 454–555 ед. пыльцы и спор. Их видовое разнообразие варьирует от 21 до 48 пыльцевых типов. Споры папоротников и мхов в палеообразцах составили 8–30 %, в фоновых – 24–27 %. В составе фоссильных палиноспектров доминируют пыльцевые зерна трав; в трех палеопочвах их доля больше, чем в современных пробах; древесных палиноморф, напротив, меньше – 7–21 %. Среди последних господствует пыльца сосны сибирской (кедра) (*Pinus sibirica*) – от 1 до 11 %, палиноморфы сосны обыкновенной (*P. sylvestris*) и ли-

Таблица 1. Палинологический состав современных и ископаемых почв рассматриваемых курганов

Палиноморфы	Фоновые почвы*		Курганы			
			№ 3	№ 2	№ 1	№ 4
	1	2	2 565 л.н.	2 520 л.н.	2 425 л.н.	2 390 л.н.
1	2	3	4	5	6	7
<i>Деревья</i>						
<i>Pinus sibirica</i> кедр сибирский + <i>P. sylvestris</i> сосна обыкновенная	19	18	3	15	3	9
<i>P. sylvestris</i> сосна обыкновенная	–	–	1	4	1	2
<i>P. sibirica</i> кедр сибирский	–	–	1	11	1	7
<i>Abies sibirica</i> пихта	2	1,3	0,4	0,3	–	–
<i>Picea obovata</i> ель	0,4	0,4	–	0,3	–	0,3
<i>Larix</i> лиственница	1	1	4	5	4	3
<i>Betula pendula</i> береза бородавчатая	–	–	–	0,3	–	2
<i>Betula alba</i> береза пушистая	–	–	–	0,3	–	0,3
<i>Salix</i> ива	–	–	0,2	–	–	2
<i>Итого</i>	22	21	7	21	7	16
<i>Ксерофиты</i>						
<i>Artemisia</i> полынь	41	36	40	41	49	47
<i>Ephedra</i> эфедра	3	2	1	5	0,6	0,3
<i>Limonium vulgare</i> кермек	–	–	–	–	–	0,8
<i>Итого</i>	44	38	41	46	50	48
<i>Мезофиты</i>						
<i>Androsace</i> проломник	–	–	3	5	1	0,5
<i>Aster (type)</i> сложноцветные	0,7	2	0,8	1,1	0,2	2
<i>Betula nana</i> береза карликовая	3	10	–	1	0,2	3
<i>Vupleurum</i> володушка	–	–	0,4	–	–	0,5
<i>Dryas</i> дриада	–	–	0,7	–	–	–
Fabaceae бобовые	–	–	0,2	–	1	1,1
<i>Galium</i> подмаренник	–	–	–	–	0,2	0,3
<i>Geranium</i> герань	–	–	0,4	0,3	–	0,5
<i>Hypericum (type)</i> зверобой (тип)	–	–	1	–	8	2
Lamiaceae губоцветные	–	–	0,8	–	–	0,3
<i>Phlomis</i> зопник	–	–	–	–	0,2	0,3
<i>Pedicularis</i> мытник	–	–	0,6	–	–	0,5
Росеае злаковые	14	16	4	6	4	8
<i>Polygonum alpinum</i> горец горный	–	–	–	–	–	0,8
Ranunculaceae лютиковые	–	–	0,2	0,3	–	–
Rosaceae розоцветные	–	–	2	0,3	5	1,1
<i>Rumex</i> щавель	–	–	0,2	–	–	0,3
<i>Saxifraga</i> камнеломка	–	–	3	1	–	2
Scrophulariaceae норичниковые	–	–	–	1	–	–
Spiraea (type) спирея (тип)	–	–	12	11	12	2
<i>Итого без споровых</i>	18	28	29	27	33	28

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
<i>Trilete ferns</i> папоротник (3-лучевые споры)	–	–	–	0,7	–	0,4
<i>Monolete ferns</i> папоротник (1-лучевые споры)	–	–	0,9	3,3	–	–
<i>Итого споровых</i>	–	–	0,9	4	–	0,4
<i>Ксерогидрофиты</i>						
<i>Carex</i> осока	14	7	1	2	0,4	2,7
<i>Equisetum</i> хвощ (споровые)	–	–	–	1	–	2,3
<i>Гидрофиты</i>						
<i>Bryales</i> гипновые мхи	–	–	1,3	2,0	1,1	2,1
<i>Lycopodium clavatum</i> плаун булавовидный	–	–	1,1	–	1,1	–
<i>Lycopodium lagopus</i> плаун заячий	–	–	–	3,1	1,1	2,6
<i>Lycopodium dubium</i> плаун сомнительный	–	–	0,9	0,7	0,2	3,2
<i>Sphagnum</i> сфагнум	–	–	0,2	0,7	0,2	1,3
<i>Итого</i>	–	–	4	7	4	8
<i>Рудералы</i>						
<i>Cannabis</i> конопля	–	–	–	1	–	–
Cichorioideae цикориевые	–	–	19	1	9	1
Chenopodiaceae маревые	3	5	0,4	1	0,2	1
<i>Plantago</i> подорожник	–	–	0,2	0,3	0,4	0,3
<i>Urtica</i> крапива	–	–	1	0,3	0,6	2
<i>Итого без споровых</i>	3	5	21	4	10	4
<i>Lycopodiella inundata</i> плаунок заливаемый споровый	–	–	3	11	9	18
Споры папоротников и мхов, %	27	24	8	23	14	30
Комочки пыльцы, %	–	–	1,3	1,1	1,8	1,5
Споры грибов, %	–	–	42	24	7	19
Сумма палиноморф, шт.	–	–	555	454	549	531

*Данные: [Дирксен, Чугунов, 2007]. Содержание палиноморфов < 0,5 %, найденных в одной палеопочве, не приведено в таблице, но учтено в сумме разных экологических групп.

ственницы (*Larix*) составляют 1–5 %; единичны пыльца ели (*Picea obovata*), пихты (*Abies sibirica*) и березы (*Betula*).

Содержание пыльцы подгруппы ксерофитно-степных растений в палеопочвах колеблется от 41 до 50 %, среди них преобладает пыльца полыни. Обильна также пыльца мезофитных растений – от 8 до 32 %. Основными представителями этой подгруппы являются палиноморфы спиреи (*Spirea*) 2–12 %, зверобоя (*Hypericum type*), злаков (Poaceae) и розоцветных (Rosaceae). Цикориевидные (Cichorioideae), отнесенные нами к рудералам, принадлежат также к мезофитам. Количество пыльцы и спор гидрофитных растений невелико – от 4 до 8 %. В их составе доминируют гипновые мхи (*Bryales*) и разные виды плаунов (*Lycopodium*). Наименьшая доля принадлежит осоке

и хвощу. Кроме того, встречено много микрогольков и спор грибов. Содержание пыльцы злаков и осок в современных спектрах составляет по 7–16 %, ископаемых – 4–8 и 0,4–3,0 % соответственно. Известно, что пыльца злаков плохо сохраняется в палеопочвах.

В регионе на сухих участках распространена степная растительность, увлажненные местообитания заняты растительными сообществами с преобладанием мхов, плаунов, хвощей, осок.

Для исследуемых объектов специфичны кламсы, или комочки пыльцы (1–2 %), которая не успела созреть и распасться на отдельные зерна. Это может быть следствием воздействия экстремальных погодных условий и антропогенного влияния, например, вытаптывания и стравливания скотом [Schlütz, Lehmkuhl, 2007].

Особенности морфологии почв

Мощность бывшего пахотного слоя составляет 25 см. Мощность гумусового профиля, включающего горизонты А1 и АВ, достигает 40–45 см. Карбонатные новообразования в профиле фиксируются на глубине 35–42 и до 200 см (дно разреза). Слой максимального скопления углекислых солей залегает на глубине 40–80 см; их новообразования обильно представлены мучнистой формой.

Изучение межкурганного пространства показало, что на расстоянии до 50 м от курганов горизонт А1 был снят при сооружении курганов и перемещен в насыпь курганов в скифское время. За 2 500 лет вокруг курганов сформировались новые горизонты почв; на расстоянии до 20 м от кургана мощность горизонта А1 составляет 10–15 см, горизонта АВ – несколько сантиметров. С удалением от кургана на 20–50 м мощность горизонта А1 постепенно возрастает до 20–25 см, горизонта АВ – до 10 см и приближается к мощности современных почв.

Материал погребенных горизонтов А1 и АВ не вскипает от соляной кислоты. В целом по морфологии профили палеопочв похожи на фоновые почвы. Исследуемые почвы представлены темно-каштановыми среднemosными супесчаными.

Химические свойства почв

В фоновых супесчаных почвах тонкодисперсные фракции – тонкопылеватая и илистая, концентрирующие $C_{орг.}$ и питательные элементы, – составляют

по 8–11 % в сумме (табл. 2), их распределение в пределах профиля довольно равномерное. Величина рН водной вытяжки фоновых почв варьирует по профилю от слабо щелочной (8,1) в верхних горизонтах до сильно щелочной (9,0–9,4) в нижних. Емкость катионного обмена невелика – 11–15 смоль(экв)/кг почвы. В составе обменных катионов преобладает кальций – 80–90 %, магний составляет 9–12, натрий – 0,4–2,5 %.

Фоновые почвы содержат в бывшем пахотном горизонте 0,8–1,0 % $C_{орг.}$, его количество уменьшается в горизонте АВ до 0,6 %. Обогащенность подвижными формами фосфора и калия в корнеобитаемом слое 0–40 см колеблется от 11 до 14 и от 6 до 17 мг/100 г почвы соответственно. Содержание подвижного калия в почвах соответствует повышенной градации, подвижного фосфора – средней.

По аккумуляции CO_2 карбонатов исследуемые почвы делятся на две группы: содержание в слое 40–100 см 4,1 и 6,2–8,0 %. Фоновые почвы не засолены, количество легкорастворимых солей составляет менее 0,1 %. Спорадически в одном фоновом разрезе и разрезе 2 палеопочв на глубине 40–70 см они встречаются в количестве 0,5 %.

По многим химическим свойствам подкурганные палеопочвы близки к фоновым аналогам. Содержание $C_{орг.}$ в палеопочвах ниже, чем в фоновых, что объясняется прекращением поступления опада и минерализацией $C_{орг.}$ в течение длительного времени. По аккумуляции углекислых солей две исследованные палеопочвы близки к первой группе фоновых почв, в которых содержание CO_2 карбонатов в слое на глубине 40–100 см составляет 4,1 %, и две палеопочвы – ко второй группе (8 %). Отсутствие обменно-

Таблица. 2. Основные показатели свойств изученных почв, %

Глубина, см	Органическое вещество, $C_{орг.}$				CO_2 карбонатов				Физическая глина, < 0,01 мм	
	Фоновая почва	Насыпь	Палеопочва		Фоновая почва		Палеопочва		Фоновая почва	Палеопочва
			до реконструкции	реконструированное содержание	разрез 1	разрез 2	среднее			
							разрезы 2, 4	разрезы 1, 3		
0–10	0,96	1,01	0,74	1,47	1,0	1,1	0,9	1,0	15	14
10–20	0,78	0,98	0,44	0,88	0,8	0,8	1,0	1,1	18	15
20–30	0,71	0,45	0,39	0,78	1,0	0,8	1,1	0,7	12	13
30–40	0,56	0,41	0,27	0,54	1,1	0,8	1,0	1,4	13	15
40–50	0,51	–	0,22	0,44	3,9	11,5	7,8	2,5	12	14
50–60	0,36	–	0,14	–	3,9	7,6	8,5	4,6	–	–
60–70	0,28	–	0,17	–	2,9	8,4	6,9	3,1	–	11
70–80	0,24	–	0,12	–	4,3	4,6	5,1	4,1	12	16
80–90	0,19	–	0,10	–	4,4	2,4	4,2	4,1	–	–
90–100	0,17	–	0,12	–	5,5	2,7	5,8	2,3	13	13

го натрия, гипса и легкорастворимых солей объясняется тем, что их нет в почвообразующей породе. Такие особенности почв характерны для Тувы [Носин, 1963; Жуланова, Чупрова, 2010].

Обсуждение результатов

По результатам археологических исследований могильник Белое Озеро-3 отнесен к уюкской культуре скифского времени. Диагностирующим материалом являются фрагменты золотых нашивок на одежде в виде фигурок различных животных, фрагменты керамики, наконечники стрел.

Палинологическое исследование показало, что в палеопочвах трех из четырех курганов обилие древесной пыльцы в среднем на 5–15 % меньше, чем в современных аналогах (в кург. № 2 равно таковому). В современных почвах доля палиноморф кедр и сосны обыкновенной значительно больше, чем в трех ископаемых почвах. Пыльца сосен, которая продуцируется деревьями в большом количестве, хорошо сохраняется и переносится на большие расстояния, могла быть занесена ветром с горных склонов вокруг котловины. Именно поэтому в современных безлесных высокогорных пыльцевых спектрах Юго-Западной Тувы обнаруживается до 20 % пыльцы кедр, занесенной с Алтая [Blyakharchuk et al., 2007].

Пыльца лиственницы очень крупная, тяжелая и не разносится на дальние расстояния. Поэтому ее содержание, даже небольшое, указывает на существование рядом локального лиственничного древостоя. Содержание пыльцы лиственницы больше во всех палеопочвах (3–5 %), по сравнению с современными аналогами (1 %). В почвах позднего кургана ее пыльцы несколько меньше, чем в других погребенных почвах. Не исключено, что это результат вырубki лесов. Образовавшиеся на их месте пустоши поддерживались постоянным выпасом большого поголовья скота на этих участках. Небольшое количество локального лиственничного древостоя в регионе – скорее всего, результат его полного сведения в настоящее время, а не климатического влияния.

Варьирование количества древесной пыльцы могло быть следствием изменения площадей лесов и смены преобладающих направлений ветров. Доминирование северных ветров в период цветения древесных пород способствовало приносу их пыльцы с Западного Саяна; преобладающие южные ветры приносили больше палиноморф трав степей. Господствовавшие направления ветров также могли существенно влиять на климат, принося влагу с севера и северо-запада воздушными массами и засухи – с южными ветрами.

Согласно двум-трем радиоуглеродным датам для древесины каждого кургана, объекты были возведены 2 565–2 390 л.н. (калиброванные даты, 1σ) или

Таблица 3. Радиоуглеродные даты для древесины из курганов*

№ кургана	Шифр лаборатории	¹⁴ C-дата, л.н.	Калиброванные значения, л.н.			
			1σ		2σ	
			диапазон; вероятность	среднее	диапазон; вероятность	среднее
1	LE-10344	2 430 ± 25	2 363–2 489; 0,975	2 425 ± 65	2 355–2 505; 0,749	2 430 ± 75
					2 634–2 696; 0,192	
LE-10367	2 410 ± 18	2 359–2 438; 0,979		2 354–2 489; 0,993		
	2	LE-10356	2 380 ± 50	2 345–2 472; 0,948	2 520 ± 177	2 325–2 540; 0,821
LE-10375		2 460 ± 25	2 459–2 520; 0,320	2 379–2 549; 0,453		
			2 587–2 617; 0,182	2 552–2 620; 0,214		
			2 632–2 699; 0,440	2 628–2 705; 0,333		
2/2	LE-373	2 465 ± 25	2 482–2 539; 0,310		2 426–2 712; 0,973	
			2632–2699; 0,434			
3	LE-10366	2 470 ± 40	2 484–2 544; 0,294	2565 ± 138	2 379–2 717; 1	2 540 ± 177
			2 557–2 619; 0,302			
			2 629–2 703; 0,370			
	LE-10368	2 440 ± 18	2 427–2 492; 0,564		2 360–2 501; 0,672	
		2 640–2 679; 0,301		2 635–2 694; 0,257		
4	LE-10346	2 380 ± 30	2 349–2 432; 1	2390 ± 40	2 342–2 490; 0,984	2 415 ± 75
	LE-10347	2 380 ± 30	2 349–2 432; 1		2 342–2 490; 0,984	

*Не приведены даты с вероятностью менее 0,1.

2 465–2 380 л.н. (некалиброванные даты) (табл. 3). Определена последовательность сооружения курганов как хроноряд – № 3–2–1–4. Ранжирование полученных спорово-пыльцевых спектров подкурганых почв в такой последовательности позволило выявить особенности.

Для начального этапа строительства некрополя выявлены признаки, которые, с одной стороны, свидетельствуют о том, что природные условия были немного влажнее современных: большая численность пыльцы мезофитов в палиноспектре палеопочвы кург. № 3 по сравнению с фоном, максимальное количество спор грибов среди палеопочв. С другой стороны, некоторые особенности указывают на большую засушливость климата: в палиноспектре палеопочвы кург. № 3 суммарное количество пыльцы деревьев меньше, чем в современных спектрах, и минимальное содержание пыльцы гидрофитов среди изученных палеопочв. Указанные противоречия можно объяснить следующим образом: в начале строительства некрополя климат был влажнее, чем в настоящее время, об этом свидетельствует пыльца мезофитов. Возможно, признаки гумидности данного этапа несколько затушевываются большим количеством палиноморф цикориевых (19 %, в других палеопочвах их 1–9 %), которые являются рудералами и свидетельствуют об антропогенном нарушении ландшафтов. В видовом составе деревьев фоссильного спектра доля локальной лиственницы преобладает над заносной пылью сосен, в фоне – наоборот.

В период сооружения кург. № 2, через 45 лет после начала строительства некрополя, тренд увлажнения климата продолжился. На это указывает увеличение количества пыльцы деревьев и гидрофитов, в т.ч. плаунка, по сравнению с современным палиноспектром. Через 95 лет появились признаки нарастания засушливости климата (кург. № 1): небольшое количество пыльцы древесных пород, гидрофитов, спор мхов и папоротников, увеличение на 3–7 % содержания пыльцы ксерофитов, по сравнению с фоном, минимальное распространение спор грибов. В спектре кург. № 1 довольно много мезофитов, но при этом отмечается минимальное количество пыльцы гидрофитных растений. Из этого следует, что участки, ранее покрытые гидрофитной растительностью, стали суше и перешли в состояние луговых степей с мезофитной растительностью.

Для финального периода строительства некрополя характерны особенности, которые указывают на возрастание увлажненности климата: увеличилось количество палиноморф деревьев, гидрофитов, а также спор, расширился состав мезофитов. На заключительном этапе возведения некрополя количество рудералов значительно возрастает преимущественно за счет распространения плаунка, при этом пыльца цикориевых почти

полностью исчезает. Это свидетельствует об усилившемся антропогенном прессинге на ландшафт в виде пастбищной дигрессии по берегам водоемов.

Древние и фоновые современные почвы близки по многим свойствам. Палеопочвы отличаются от фоновых аналогов меньшим содержанием $C_{орг.}$. Ранее было показано, что в верхних горизонтах степных почв через 2 тыс. лет погребения под насыпями сохраняется ок. 50 % $C_{орг.}$ от исходного содержания [Иванов, 1992]. Реконструированное количество $C_{орг.}$ в слое 0–30 см древних почв больше, чем в современных аналогах, с учетом того, что за 2 500 лет минерализовалось 50 % гумуса. Содержание $C_{орг.}$ в слое 0–10 см палеопочв составляет $0,74 \pm 0,08$ %, реконструированное – $1,46 \pm 0,15$ %, в фоновых почвах – $0,96 \pm 0,10$ %. Однако сопоставление древних почв корректнее проводить с целинными аналогами, т.к. под влиянием распашки целины отмечается убыль $C_{орг.}$. При переводе пахотных почв участка в пастбищное состояние почвы не смогли восстановить свое плодородие ввиду небольшой длительности переходного периода (13 лет), пастбищной дигрессии и потепления климата. Так, в 1977–2006 гг. по сравнению с 1961–1990 гг. (период климатической нормы, предложенный Всемирной метеорологической организацией) в Турано-Уюкской котловине среднегодовая температура почвы возросла на $1,8$ °С, воздуха – на $2,4$ °С, при этом проявилась тенденция сокращения атмосферных осадков, обусловившая некоторое уменьшение продуктивности угодий за последние 30 лет [Андрейчик, 2011].

Содержание $C_{орг.}$ в слое 0–10 см целинных супесчаных темно-каштановых почв, по данным массовых анализов, составляло 1,2–1,7 % [Носин, 1963, с. 242]. Таким образом, сравнение реконструированного количества $C_{орг.}$ в уюкских палеопочвах с целинными аналогами показывает, что почвы мало различаются по содержанию $C_{орг.}$ в слое 0–10 см. Сопоставление целинных и фоновых почв позволило выявить убыль $C_{орг.}$ в слое 0–10 см на 34 относительных % в результате антропогенной нагрузки. Следовательно, произошло приблизительно такое же сокращение $C_{орг.}$ и в слое 10–30 см фоновых почв (бывший пахотный слой). На основе этих данных мы рассчитали количество $C_{орг.}$, которое могло быть в фоновых почвах слоя 10–30 см до антропогенной нагрузки. Оно оказалось больше, чем реконструированное содержание $C_{орг.}$ в слое 10–30 см палеопочв. В целом обогащенность $C_{орг.}$ существенно не различается в четырех палеопочвах. Это свидетельствует о том, что при возведении курганов палеоклимат был близок к современному и, возможно, ранее он был более аридным, что привело к убыли $C_{орг.}$; дальнейшее улучшение природных условий было непродолжительным и способствовало накоплению гумуса только в верхнем слое почв.

Природные условия в скифское время в Туве и сопредельных регионах

На территории Тувы скифские племена появились после IX в. до н.э., раньше, чем в евразийских степях. Об этом свидетельствуют материалы исследования кургана Аржан-1, сооруженного на рубеже VIII–IX вв. до н.э. в Турано-Уюкской котловине [Грязнов, 1980]. Уникальный неразграбленный курган Аржан-2 был возведен в середине VII в. до н.э. [Чугунов, Наглер, Парцингер, 2002]. Эти даты получены дендрохронологическим и радиоуглеродным методами. В отложениях Белого озера слой, соответствующий скифскому времени, характеризуется резким увеличением численности пыльцы деревьев и большей влажностью, чем в настоящее время. Эти условия способствовали миграции скифских культур в азиатские регионы [Дирксен, Чугунов, 2007].

Спорово-пыльцевая диаграмма донных отложений оз. Тере-Холь в Юго-Восточной Туве показывает, что в хроноинтервале 3,2–1,0 тыс. л.н. происходило чередование пяти гумидных и четырех аридных периодов. В начале и конце I тыс. до н.э. климат был сухой, в его середине – влажный [Бוליховская, Панин, 2008; Bronnikova et al., 2014]. Аналогичные периоды выделяются по пыльцевой диаграмме отложений болота Лугового в Западном Саяне [Blyakharchuk, Chernova, 2013]. На основании изучения датированных по радиоуглероду палеопочв сопредельных Центрально-Тувинской и Хемчикской котловин установлено, что 2,7 тыс. л.н. климат был близок к современному, а 2,5 тыс. л.н. – умеренно теплым и влажным [Дергачева, Очур, 2012]. Информационно важным является дендроиндикационный анализ [Мыглан, Ойдупаа, Ваганов, 2012]. Согласно результатам изучения этим методом древесины из курганов пазырыкской культуры на Алтае, скифское время характеризовалось трендом понижения среднелетних температур воздуха на 2,2–2,5 °C с минимумами в VI и III вв. до н.э., по сравнению с современными [Быков, Быкова, 2006]. Исследование могильника Холаш (IV–III вв. до н.э., дата определена по археологическим находкам) на западе Тувы позволило сделать вывод о том, что во время его сооружения количество пыльцы ксерофитов в растительном покрове было больше, чем в настоящее время, а биологическая активность палеопочв – ниже современных из-за сухих климатических условий [Чистяков и др., 1997].

Анализ вышеприведенных палеоэкологических данных выявил динамичность палеоклимата: в начале и конце I тыс. до н.э. отмечалась в основном засушливость, в середине – в период расцвета скифской культуры – гумидность. Следовательно, в это время степные ценозы Турано-Уюкской котловины характеризовались

большой продуктивностью. Эти условия обеспечили возможность проживания здесь скифских племен.

Заключение

Выполнено комплексное исследование скифского могильника Белое Озеро-3 в Турано-Уюкской котловине Республики Тыва (Южная Сибирь). Проведенное палинологическое исследование позволяет сделать вывод о том, что в период возведения первых двух курганов климат был немного влажнее современного; через 95 лет он стал более засушливым. В заключительный период создания некрополя вновь началась гумидизация природной среды. В уюкское время основную часть территории занимали сухостепные сообщества с участками гидрофитной растительности вблизи водоемов и на северных склонах; площадь разреженных лиственных лесов была больше, чем в настоящее время, что объясняется их современным антропогенным сведением.

Старейший курган сооружался на участке, который ранее, возможно, обрабатывался земледельцами. На это указывает обилие пыльцы сорняков из группы цикориевых (*Cichorioideae*). Отмечено усиление антропогенного прессинга на ландшафт в завершающей фазе строительства некрополя, что выражалось в сокращении лиственных насаждений. Предполагается динамическое изменение пастбищной дигрессии растительного покрова в период создания некрополя. Об этом свидетельствует 4-кратное увеличение содержания пыльцы плаунка (*Lycopodium inundata*) при возведении кург. № 2, по сравнению с началом строительства некрополя, и 6-кратное – на заключительной стадии. Известно, что плаунок хорошо разрастается на нарушенных и переувлажненных почвах. Его увеличение в финале строительства курганов может свидетельствовать о значительном количестве скота в это время. Животные вытаптывали естественные растительные сообщества по берегам водоемов во время водопоя. Это, в свою очередь, нарушало естественную задернованность почвы и способствовало распространению плаунка.

Свойства фоновых и древних почв имеют большое сходство: реконструированное содержание $S_{орг}$ в слое 0–10 см древних почв близко к содержанию в целинных аналогах, а в слое 10–30 см – меньше такового. Эти данные указывают на отсутствие существенных изменений палеоклимата в период строительства некрополя и его близость к современной природной обстановке.

Изучение в Долине Царей Тувы уникальных курганов Аржан-1 и -2 важно для выяснения происхождения культуры соорудивших их ранних скифов, а курганов, возведенных в последующие 250–450 лет, – для понимания развития культуры и причин миграции скифов на запад.

Благодарность

Исследование выполнено за счет грантов Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 17-05-01151, 17-55-52020.МНТ_а и 13-04-00984) и Министерства образования и науки РФ (проект № 14).

Список литературы

- Андрейчик М.Ф.** Изменение климата в Турано-Уюкской котловине Тувинской горной области // Вестн. Краснояр. гос. аграр. ун-та. – 2011. – № 12. – С. 152–159.
- Болиховская Н.С., Панин А.В.** Динамика растительного покрова Терехольской котловины (Юго-Восточная Тува) во второй половине голоцена // Палинология: стратиграфия и геоэкология / под ред. О.М. Прицепа, Д.А. Субего. – СПб.: Всерос. нефтян. науч.-исслед. геологоразвед. ин-т, 2008. – С. 69–75. – (Сб. науч. тр. XII Всерос. палинолог. конф.; т. II).
- Быков Н.И., Быкова В.А.** О синхронности исторических и климатических периодов на Алтае // Эколого-географические, археологические и социо-этнографические исследования в Южной Сибири и Западной Монголии: рос.-монгол. сб. науч. тр. / ред. В.В. Невинский. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2006. – С. 24–35.
- Волковинцер В.И.** Степные криоаридные почвы. – Новосибирск: Наука, 1978. – 208 с.
- Воробьева Л.А.** Химический анализ почв. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1998. – 272 с.
- Грязнов М.П.** Аржан. Царский курган раннескифского времени. – Л.: Наука, 1980. – 63 с.
- Дергачева М.И., Очур К.О.** Реконструкция изменений природной среды в течение голоцена на территории Центрально-Тувинской котловины // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2012. – № 1. – С. 5–17.
- Дирксен В.Г., Чугунов К.В.** Турано-Уюкская котловина Тувы: изменения природных условий и динамика ее освоения в древности (опыт реконструкции) // Культурно-экологические области: взаимодействие традиций и культурогенез. – СПб.: ИИМК РАН, 2007. – С. 139–164.
- Дубровский Н.Г., Намзалов Б.Б., Ооржак А.В.** Степи и залежи Тывы. – Кызыл: Ред.-изд. отд. Тув. гос. ун-та, 2014. – 143 с.
- Жуланова В.Н., Чупрова В.В.** Агрочувствительность Тувы: свойства и особенности функционирования. – Красноярск: Крас. гос. агр. ун-т, 2010. – 155 с.
- Иванов И.В.** Эволюция почв степной зоны в голоцене. – М.: Наука, 1992. – 144 с.
- Куминова А.В.** Ботанико-географические закономерности растительного покрова на карте растительности Тувы // Геоботаническое картографирование. – Л.: Наука, 1983. – С. 40–46.
- Мыглан В.С., Ойдупаа О.Ч., Ваганов Е.А.** Построение 2 367-летней древесно-кольцевой хронологии для Алтае-Саянского региона (горный массив Монгун-Тайга) // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2012. – № 3. – С. 76–83.
- Носин В.А.** Почвы Тувы. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 342 с.
- Приходько В.Е., Иванов И.В., Зданович Д.Г., Зданович Г.Б., Манахов Д.В., Инубуши К.** Аркаим – укрепленное поселение эпохи бронзы степного Зауралья: почвенно-археологические исследования. – М.: Издат. дом «Тип. Россельхозакадемии», 2014. – 264 с.
- Чендев Ю.Г., Ершова Е.Г., Александровский А.Л., Гольева А.А., Хохлова О.С., Пономаренко Е.В., Русаков А.В., Шаповалов А.С.** Почвенные и ботанические записи изменения природной среды Ямской степи в голоцене // Изв. РАН. Сер. Геогр. – 2016. – № 2. – С. 75–89.
- Чистяков К.В., Дирксен В.Г., Горбовская А.Д., Семенов В.А., Килуновская М.Е., Курбатская С.Г.** Палеоэкологические условия скифского времени в горах Западной Тувы // Вестн. СПб. гос. ун-та. Сер. 7. – 1997. – Вып. 2. – С. 43–55.
- Чугунов К.В., Наглер А., Парцингер Г.** Элитное погребение эпохи ранних кочевников в Туве (предварительная публикация полевых исследований российско-германской экспедиции в 2001 г.) // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2002. – № 2. – С. 115–124.
- Ямских А.Ф.** Палеогеографические условия Тоджинской котловины в голоцене // Природные условия и ресурсы юга Средней Сибири. – Красноярск: Краснояр. гос. пед. ин-т, 1983. – С. 3–19.
- Ямских Г.Ю.** Растительность и климат голоцена Минусинской котловины. – Красноярск: Изд-во Краснояр. гос. ун-та, 1995. – 180 с.
- Blyakharchuk T.A., Chernova N.A.** Vegetation and climate in the Western Sayan Mts. according to pollen data from Lugovoe Mire as background for prehistoric cultural change in southern Middle Siberia // Quaternary Sci. Rev. – 2013. – Vol. 75. – P. 22–42.
- Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., Knaap W.O., van der, Amman B.** Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia) // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2007. – Vol. 245. – P. 518–534.
- Bronnikova M., Panin A., Uspenskaya O., Fuzeina Yu., Turova I.** Late Pleistocene–Holocene environmental changes in ultra-continental subarid permafrost affected landscapes of the Terekhol' Basin, South Siberia // Catena. – 2014. – Vol. 112. – P. 99–111.
- Gerashimenco N.** Environmental and climatic changes between 3 and 5 BP in Southeastern Ukraine // Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse / eds. H.N. Dalfes, G. Kukla, H. Weiss. – Berlin; Heidelberg: Springer-Verl., 1997. – P. 371–401. – (NATO. ASI Ser.; vol. I 49).
- Schlütz F., Lehmkuhl F.** Climatic change in the Russian Altai, southern Siberia, based on palynological and geomorphological results, with implications for climatic teleconnections and human history since the middle Holocene // Veget. Hist. Archaeobot. – 2007. – Vol. 16. – P. 101–118.
- Stuiver M., Reimer P.J., Reimer R.** CALIB 6.0.2. 2005. – URL: <http://calib.org/calib/>

Материал поступил в редколлегию 26.06.15 г.,
в окончательном варианте – 24.05.17 г.