

С.В. Святко

14ХРОНО Центр по Изучению Климата, Окружающей Среды и Хронологии,
Королевский Университет Белфаста
BT7 1NN, Соединенное Королевство
Великобритании и Северной Ирландии
E-mail: s.svyatko@qub.ac.uk

ПРЕСНОВОДНЫЕ РЕЗЕРВУАРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ЕВРАЗИЙСКОЙ СТЕПНОЙ ЗОНЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАДИОУГЛЕРОДНЫЙ ВОЗРАСТ КОСТНЫХ ОБРАЗЦОВ

*Резервуарный эффект зачастую является источником погрешности в радиоуглеродном возрасте костей людей и некоторых животных. Под пресноводным резервуарным эффектом (ПРЭ) подразумевается разница между радиоуглеродным возрастом чисто наземного образца (содержание ^{14}C в котором будет сопоставимо с атмосферным уровнем ^{14}C) и современного ему пресноводного образца или любого образца, часть ^{14}C в котором происходит из водного резервуара (водоема) с пониженным по сравнению с атмосферой уровнем ^{14}C . К последним относятся не только непосредственно водная фауна, но и наземные животные, в диету которых входят водные компоненты. Цель данной работы — продемонстрировать широкое распространение и разнообразие ПРЭ на территории России и Казахстана, а также обратить внимание на необходимость принятия во внимание этого существенного и до сих пор малоизученного фактора при датировании костей. Для выявления современных ПРЭ в рамках данного исследования было продатировано девять образцов современных рыб различных видов из шести регионов Сибири и Казахстана; полученные результаты были сопоставлены с данными по ПРЭ из предыдущих исследований в трех регионах. На основе имеющихся материалов можно сделать следующие наблюдения: 1) практически во всех проанализированных регионах, за исключением оз. Карга, обнаружен резервуарный эффект. В образце (*Carassius*) из оз. Харга величина ПРЭ незначительна; для подтверждения отсутствия ПРЭ в озере требуется дальнейший анализ современной водной фауны; 2) значения ПРЭ в пределах изучаемого региона крайне неоднородны; величина эффекта сильно различается между водоемами; 3) величина ПРЭ также варьируется в пределах одного водоема между различными особями рыб. Четыре образца рыб из среднего течения р. Енисей (а также его притока р. Карасук, Минусинская котловина) показали разницу в значении ПРЭ между образцами приблизительно в 600 ^{14}C лет. Разница между двумя особями щуки из р. Карасук составила более 100 ^{14}C лет; 4) на данный момент наиболее значимые показатели ПРЭ (чуть менее 2 тыс. ^{14}C лет) обнаружены в верховьях р. Лена (Иркутская обл.).*

Ключевые слова: пресноводные резервуарные эффекты, радиоуглеродное датирование, Евразийские степи, современная рыба.

DOI: 10.20874/2071-0437-2016-32-1-165-173

Введение

В настоящее время радиоуглеродное (^{14}C) датирование является одним из наиболее распространенных и точных методов как для определения возраста отдельных органических образцов, так и для построения надежной хронологической шкалы археологических культур и исторических событий. Для ^{14}C анализа специалисты зачастую отбирают образцы кости человека и животных, однако во многих случаях резервуарный эффект (РЭ) приносит отклонения в полученные даты. Источником углерода в организме человека и животных является потребляемая ими пища, однако количество радиоактивного углерода в самой пище зависит от того, из какого источника (резервуара) она происходит. Если часть углерода в пище происходит из резервуара с более низким, чем в атмосфере, уровнем ^{14}C , в образце-потребителе может проявиться резервуарный эффект. Разница между радиоуглеродным возрастом такого образца с пониженным уровнем ^{14}C и современного ему чисто наземного образца называется «резервуарной погрешностью» или величиной резервуарного эффекта. Существует несколько типов резервуарных эффектов, различающихся природой самого неатмосферного резервуара; в каждом случае источники «старого» углерода разные. К примеру, морской РЭ образуется из-за медленного смешивания глубинных слоев океана с более «молодыми» (т.е. более насыщенными совре-

менным, атмосферным углеродом) верхними слоями, вулканический РЭ — при выбрасывании в воздух большого количества «старого» углерода во время извержения вулканов и т.д.

В данной работе основное внимание будет уделено пресноводным резервуарным эффектам как наиболее актуальным для специалистов, работающих во внутриматериковых регионах России, а также в Евразийских степях. В частности, будут представлены результаты радиоуглеродного датирования современных видов рыб из различных водоемов России и Казахстана, демонстрирующие наличие резервуарного эффекта на этой территории. Результаты настоящего исследования позволяют по-новому взглянуть на возможности и ограничения ^{14}C датирования костных материалов, а также образцов, содержащих останки рыб и раковин (например, глиняной посуды, сделанной из ила с добавлением костей рыб и раковины в качестве примеси).

Пресноводные резервуарные эффекты (ПРЭ) и их распространение в Евразийской степной зоне

Под «старением» углерода подразумевается распад его радиоактивного изотопа ^{14}C (радиоуглерода). Радиоуглерод образуется в основном в верхних слоях атмосферы при столкновении вторичных нейтронов от космических лучей с ядрами атмосферного азота; его уровни в атмосфере практически постоянны. За счет атмосферного обмена радиоактивный углерод опускается к поверхности Земли и распространяется по пищевой цепи от растений к животным и человеку. «Старение» углерода начинается, когда он прекращает обмен с атмосферой, например со смертью организма. Поскольку период полураспада ^{14}C — 5730 лет, то приблизительно через 50 000 лет с начала распада радиоактивного углерода в изолированном образце практически не остается. Важнейшим источником «старого» углерода в пресной воде является растворенный неорганический углерод из не содержащих ^{14}C карбонатных минералов в грунтовых водах (из-за этого ПРЭ иногда называют эффектом жесткой воды). Поскольку многие осадочные породы состоят из скелетных фрагментов морских организмов, умерших миллионы лет назад, они представляют собой своеобразное хранилище «старого» углерода, практически не содержащего ^{14}C (т.е. нерадиоактивного) [Culleton, 2006; Sveinbjörnsdóttir et al., 1995]. Таким образом, величина ПРЭ в большинстве регионов тесно связана с геологическим составом подстилающей породы. Можно предположить, что наибольшие значения ПРЭ могут быть выявлены в регионах, богатых углеродосодержащими породами (например, известняком), хотя в каждом случае сама структура, глубина и расположение слоев могут влиять на обмен карбонатов с грунтовыми водами. Другими факторами, влияющими на масштаб ПРЭ, являются разложившаяся органика в бассейне водоема, которая вымывается в сам водоем, долгий период застоя воды [Ibid.], таяние ледников и высвобождение «старого» углекислого газа (CO_2) [Osipov, Khlystov, 2010], подводный выход гидратов метана [Prokopenko, Williams, 2004], а также геотермальная активность [Higham et al., 2010; Ascough et al., 2010].

В результате подводного фотосинтеза растения и водоросли насыщаются «старым» углеродом (с пониженным содержанием изотопа ^{14}C), который затем передается вверх по пищевой цепи — к моллюскам, рыбам и водным млекопитающим и далее — к наземным животным, потребляющим водную пищу (включая человека). Радиоуглеродный возраст таких образцов, подверженных ПРЭ, оказывается удивительно древним. Необходимо учитывать, что величина ПРЭ в пределах одного водоема может различаться в зависимости от вида и возраста анализируемого животного. Это напрямую зависит от конкретного места обитания (и соответственно диеты) животного (напр., [Fernandes et al., 2013]). К примеру, из-за более активного углеродного обмена между атмосферой и водой рыбы и моллюски, обитающие на мелководье или ближе к поверхности воды, будут подвержены ПРЭ в меньшей степени, нежели глубоководные животные. Существуют также данные об изменении ПРЭ во времени в результате изменения гидрологической структуры региона (напр., [Ascough et al., 2010]) или предположительно климатических условий, ведущих к таянию ледников и, таким образом, высвобождению большого количества «старого» углерода в местный резервуар, т.е. водоем (см. дискуссию в: [Schulting et al., 2015]).

В отличие от хорошо изученного морского резервуарного эффекта [www.calib.org/marine], влияние пресноводного резервуарного эффекта до настоящего времени редко учитывалось при датировании костей людей и животных вследствие отсутствия систематических данных. Большинство исследований по этой теме было сделано на материалах нескольких регионов Европы [Cook et al., 2001, 2002; Fischer, Heinemeier, 2003; Olsen et al., 2010; Keaveney, Reimer, 2012; Loughheed et al., 2013; Fernandes et al., 2014; Meadows et al., 2015] и Северной Америки [Ingram,

Пресноводные резервуарные эффекты в Евразийской степной зоне...

Southon, 1996; Goodfriend, Flessa, 1997; Culleton, 2006], и лишь несколько работ коснулись распространения ПРЭ в России и Евразийской степной зоне, включая верховья р. Лены и Прибайкалье [Nomokonova et al., 2013; Schulting et al., 2014, 2015], Прикаспийские степи и нижнее течение р. Дон [Шишлина, 2010; Shishlina et al., 2007, 2009, 2012, 2014; Motuzaitė-Matuzeviciute et al., 2015], среднее и нижнее течения р. Днепр [Lillie et al., 2009], Северо-Восточный Казахстан [Svyatko et al., 2015], а также р. Сертейка в Смоленской области [Kulkova et al., 2015] и оз. Кубенское в Вологодской области [Wood et al., 2013]. Основным выводом проведенных исследований заключается в том, что ПРЭ представляется крайне неоднородным географически (величина ПРЭ может варьироваться от нуля до нескольких тысяч лет) и что «каждая группа людей, которая может быть подвергнута ПРЭ, должна рассматриваться индивидуально» [Wood et al., 2013]. Изучение этого явления, анализ степени его влияния или подтверждение его отсутствия в конкретных областях может значительно уточнить хронологические построения в этих регионах.

Современные ПРЭ в Евразийской степной зоне — материалы, методы и результаты

Для выявления современных ПРЭ в рамках данного исследования было продатировано девять образцов рыб различных видов из шести регионов Сибири и Казахстана (рис. 1; карта дополнена данными из предыдущих исследований — см. табл.). Анализ был проведен в ¹⁴ХРОНО Центре по Изучению Климата, Окружающей Среды и Хронологии, Королевский Университет Белфаста (Северная Ирландия), с использованием масс-спектрометра на базе ускорителя (AMS). Подготовка образцов коллагена для анализа была проведена по стандартному методу [Brown et al., 1988], дополненному ультрафильтрацией [Bronk Ramsey et al., 2004], и включала деминерализацию кости, желатинизацию белка, фильтрацию и ультрафильтрацию коллагена и последующую сублимационную сушку. Радиоуглеродный возраст образцов был рассчитан способом, описанным в [Fernandes et al., 2014]. Результаты представлены в табл. Для сравнения были использованы данные по современным ПРЭ из трех регионов России, полученные в ходе предыдущих исследований.

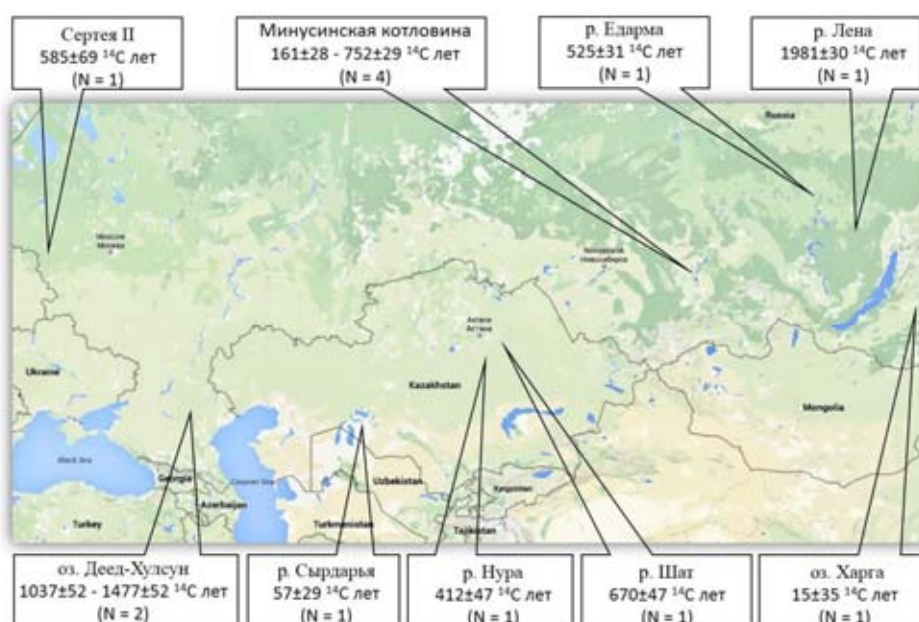


Рис. 1. Распространение современных пресноводных резервуарных эффектов на территории России и Евразийских степей.

На основе имеющихся данных можно сделать следующие наблюдения:

1. Практически во всех проанализированных регионах, за исключением оз. Карга, обнаружен резервуарный эффект. В образце (*Carassius*) из оз. Харга величина ПРЭ незначительна; для подтверждения отсутствия ПРЭ в озере требуется дальнейший анализ современной водной фауны.
2. Значения ПРЭ в пределах изучаемого региона крайне неоднородны; величина эффекта сильно различается между резервуарами (водоемами).

3. Величина ПРЭ также варьируется в пределах одного водоема между различными особями рыб. Четыре образца рыб из среднего течения р. Енисей (а также его притока р. Карасук, Минусинская котловина) показали разницу в значении ПРЭ между образцами приблизительно в 600 ¹⁴C лет. Разница между двумя особями щуки из р. Карасук составила более 100 ¹⁴C лет.

4. Наиболее значимые показатели ПРЭ (чуть менее 2 тыс. ¹⁴C лет) обнаружены в верховьях р. Лена (Иркутская обл.).

Результаты радиоуглеродного датирования современных рыб из различных водоемов России и Казахстана

Лаб. шифр	Образец	Происхождение	Год сбора	F ¹⁴ C±F ¹⁴ C sigma	Величина ПРЭ (¹⁴ C лет)
UBA-28386	Карась (<i>Carassius</i>)	оз. Харга, Бурятия, Россия	2013	1,0372±0,0036	15±35
UBA-27482	Плотва (<i>Rutilus</i>)	р. Шат (Сартыксу), Казахстан	2014	0,956±0,0053	670±47
UBA-27485	Карась (<i>Carassius</i>)	р. Нура, (близ могильника Тегизжол и поселения Темиркаш), Казахстан	2014	0,9872±0,0054	412±47
UBA-29371	—	р. Сырдарья, низовья, Казахстан	2013	1,0318±0,0032	57±29
UBA-29395	Щука взрослая (<i>Esox lucius</i>)	р. Карасук, Минусинская котловина, Россия	2007	0,9614±0,0032	752±29
UBA-29396	Щука молодая (<i>Esox lucius</i>)	р. Карасук, Минусинская котловина, Россия	2007	0,976±0,0033	631±29
UBA-29397	Карп (<i>Cyprinus carpio carpio</i>)	р. Карасук, Минусинская котловина, Россия	2007	1,0041±0,0032	403±28
UBA-29398	Сазан (<i>Cyprinus carpio</i>)	р. Енисей (близ г. Тепсей), Минусинская котловина, Россия	2007	1,0349±0,0033	161±28
UBA-29646	Налим (<i>Lota lota</i>)	р. Едарма, Россия	2014	0,9734±0,0033	525±31
ОхА-V-2585-23 ¹	Щука (<i>Esox lucius</i>)	р. Лена (близ г. Усть-Кут), Иркутская обл., Россия	2002	0,84294±0,0027	1981±30
ИГАН-3614 ²	Сазан (<i>Cyprinus carpio</i>)	оз. Деед-Хулсун, Прикаспийская низменность, Россия	2006	n/a	1477±52*
ИГАН-3232 ²	Сазан (<i>Cyprinus carpio</i>)	оз. Деед-Хулсун, Прикаспийская низменность, Россия	2006	n/a	1037±52*
SPb-1402 ³	Голавль (<i>Squalius cephalus</i>)	Сертея II, бассейн р. Двина и Ловать, Россия	n/a	95,3±0,60**	585±69

Примечание. Данные предыдущих исследований взяты из следующих работ: ¹[Schulting et al., 2015]; ²[Шишлина, 2010]; ³[Kulkova et al., 2015].

* Величина ПРЭ рассчитана исходя из радиоуглеродного возраста (BP) образцов, данного в оригинальной работе.

** Использовано значение pMC (percent of modern carbon).

На данный момент мы не имеем возможности идентифицировать конкретные источники «старого» углерода в исследуемых водоемах. К примеру, огромная величина ПРЭ в образце щуки из р. Лены может быть связана как с вымыванием карбоната кальция (CaCO₃) из известняковых отложений верхнего бассейна реки, так и с периодическим подтаиванием грунта из мерзлых пород в регионе [Schulting et al., 2015].

Итоги и рекомендации

В данной работе основное внимание было уделено *современным* пресноводным резервуарным эффектам как наиболее точно демонстрирующим погрешность. Определение ПРЭ погрешности для археологических образцов требует тщательного изучения археологического контекста (для определения синхронности наземного и водного образца), а также дополнительных палеодиетарных изотопных анализов для определения доли водной составляющей в диете (например, при сравнении наземного образца и образа кости человека, см. далее).

Целью данной работы было продемонстрировать широкое распространение и разнообразие пресноводных резервуарных эффектов на территории России и Казахстана, а также обратить внимание на необходимость принятия во внимание этого существенного и до сих пор малоизученного фактора при датировании костей людей и некоторых животных.

Выявление ПРЭ в целом и определение его масштаба в конкретных регионах позволят уточнить хронологию археологических культур и явлений. К примеру, на данный момент требуют пересмотра сделанные ранее выводы о появлении проса в Южной Сибири [Svyatko et al., 2013].

В целом определить наличие ПРЭ в водоеме возможно, к примеру, путем измерения щелочности воды. Положительная линейная корреляция ($r^2 = 0,68$) между щелочностью воды и ПРЭ в

Пресноводные резервуарные эффекты в Евразийской степной зоне...

озерах Ирландии и Великобритании указывает на увеличение возраста коллагена рыб приблизительно на 100^{14}C лет с увеличением щелочности воды на каждые $10 \text{ mg CaCO}_3/\text{л}$ (рис. 2; взято из: [Keaveney, Reimer, 2012, fig. 4]).

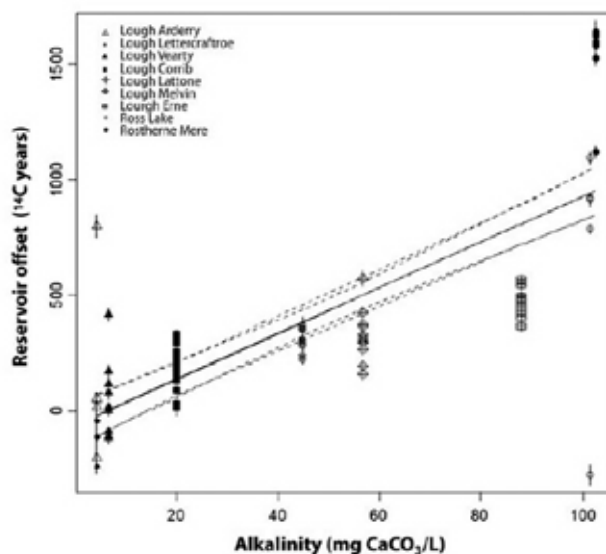


Рис. 2. График зависимости щелочности воды и величины пресноводного резервуарного эффекта в современных рыбах из различных озер Великобритании и Ирландии [Keaveney, Reimer, 2012].

Существует несколько способов определения величины ПРЭ в регионе исходя из ^{14}C дат местной фауны. Для оценки современных ПРЭ необходимо провести радиоуглеродный анализ современных водных животных, например рыб или моллюсков (желательно нескольких видов). Для выявления ПРЭ в археологических контекстах требуется провести ^{14}C датирование «парных» образцов, состоящих из строго синхронных наземных (например, кости травоядных животных) и водных материалов (например, рыба). «Парным» образцом для наземных материалов могут также являться кости всеядных или хищников, которые могли потреблять пищу водного происхождения: люди, собаки и т.п.). Для уточнения последнего проводится оценка состава диеты животных или людей, а именно роли рыбного компонента, с помощью анализа стабильных изотопов азота ($\delta^{15}\text{N}$) и углерода ($\delta^{13}\text{C}$). В качестве примера можно привести работу [Schulting et al., 2014], в которой была построена регрессионная линейная модель зависимости величины ПРЭ от уровней азота у людей и на основе ^{14}C датирования 33 пар людей и травоядных. Для построения подобных моделей необходимо проведение систематического радиоуглеродного и изотопного анализа большого количества парных образцов, что не всегда представляется возможным.

Альтернативным подходом к датировке археологических памятников может быть анализ самих травоядных животных, поскольку риска влияния ПРЭ на такие образцы нет.

Актуален вопрос о возможности получения средней ПРЭ поправки для конкретных археологических культур и регионов. В данной ситуации необходимо учитывать несколько положений. Во-первых, поскольку ПРЭ крайне неоднороден географически, некую среднюю поправку можно рассчитать скорее для конкретного региона (или даже водоема), а не для культуры/популяции (так как ареал распространения населения может занимать несколько регионов с различными геологическими характеристиками). Во-вторых, для наземных животных (в том числе людей), потребляющих водную пищу, степень влияния ПРЭ для каждого конкретного индивида будет напрямую зависеть от пропорции водной пищи в диете этого индивида, для определения которой необходимо провести палеодиетарный изотопный анализ. К примеру, разница между парными образцами костей людей и травоядных животных из памятников мезолита — начала эпохи бронзы в верховьях р. Лена колеблется от 255 до 1010^{14}C лет [Schulting et al., 2015]. Для самих же водных образцов (рыб и моллюсков) величина ПРЭ, как упоминалось выше, напрямую связана с конкретным рационом животного и в некоторых случаях может существенно различаться между образцами. Таким образом, необходимы дальнейшие исследования,

которые бы смогли продемонстрировать целесообразность использования средней ПРЭ поправки для различных групп населения.

Исследование было проведено при поддержке гранта Leverhulme Trust RPG-2014-08. Мы хотели бы выразить благодарность за помощь в подборе современных образцов рыб коллегам Н.В. Цыденовой (Институт монголоведения, буддологии и тибетологии СО РАН), В.В. Варфоломееву (Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова), Д. Воякину (научно-исследовательская организация «Археологическая экспертиза», Алматы) и В.М. Новосельцевой (Иркутская лаборатория археологии и палеоэкологии, Институт археологии и этнографии СО РАН, Иркутск). Также мы очень признательны коллегам С.С. Тур, Г.Г. Кравченко и А.П. Шитову за ценные комментарии и советы к данной работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Шишлина Н.И. Новые данные о резервуарном эффекте в Прикаспии (по материалам современных и археологических образцов) // Проблемы и периодизация археологических памятников и культур Северного Кавказа: XXVI «Крупновские чтения» по археологии Северного Кавказа: Тез. докл. Магас (Республика Ингушетия), 2010.

Ascough P.L., Cook G.T., Church M.J., Dunbar E., Einarsson Á., McGovern T.H., Dugmore A.J., Perdikaris S., Hastie H., Friðriksson A., Gestsdóttir H. Temporal and spatial variations in freshwater 14C reservoir effects: Lake Myvatn, Northern Iceland // *Radiocarbon*. 2010. N 52. P. 1098–1112.

Bronk Ramsey C., Higham T., Bowles A., Hedges R. Improvements to the Pretreatment of Bone at Oxford // *Radiocarbon*. 2004. N. 46. P. 155–163.

Brown T.A., Nelson D.E., Vogel J.S., Southon J.R. Improved collagen extraction by modified Longin method // *Radiocarbon*. 1988. N 30. P. 171–177.

Cook G.T., Bonsall C., Hedges R.E.M., McSweeney K., Boroneant V., Pettitt P.B. A freshwater diet-derived 14C reservoir effect at the Stone Age sites in the Iron Gates Gorge // *Radiocarbon*. 2001. N 43. P. 453–460.

Cook G.T., Bonsall C., Hedges R.E.M., McSweeney K., Boroneant V., Bartosiewicz L., Pettitt P.B. Problems of dating human bones from the Iron Gates // *Antiquity*. 2002. N 76. P. 77–85.

Culleton B. Implications of a freshwater radiocarbon reservoir correction for the timing of late Holocene settlement of the Elk Hills, Kern County, California // *Journ. of Archaeol. Science*. 2006. N 33. P. 1331–1339.

Fernandes R., Dreves A., Nadeau M.J., Grootes P.M. A Freshwater Lake Saga: Carbon Routing Within the Aquatic Food Web of Lake Schwerin // *Radiocarbon*. 2013. N 55. P. 1102–1113.

Fernandes R., Rinne C., Nadeau M.-J., Grootes P. Towards the use of radiocarbon as a dietary proxy: Establishing a first wide-ranging radiocarbon reservoir effects baseline for Germany // *Environmental Archaeology*. 2014.

Fischer A., Heinemeier J. Freshwater Reservoir Effect in 14C Dates of Food Residue on Pottery // *Radiocarbon*. 2003. N 45. P. 449–466.

Goodfriend G., Flessa K. Radiocarbon reservoir ages in the Gulf of California; roles of upwelling and flow from the Colorado River // *Radiocarbon*. 1997. N 39. P. 139–148.

Higham T., Warren R., Belinskij A., Härke H., Wood R. Radiocarbon Dating, Stable Isotope Analysis, and Diet-Derived Offsets in 14C Ages from the Klin-Yar Site, Russian North Caucasus // *Radiocarbon*. 2010. N 52. P. 653–670.

Ingram B.L., Southon J.R. Reservoir Ages in Eastern Pacific Coastal and Estuarine Waters // *Radiocarbon*. 1996. N 38. P. 571–582.

Keaveney E.M., Reimer P.J. Understanding the variability in freshwater radiocarbon reservoir offsets: A cautionary tale // *Journ. of Archaeol. Science*. 2012. N 39. P. 1306–1316.

Kulkova M., Mazurkevich A., Dolbunova E., Regert M., Mazuy A., Nesterov E., Sinai M. Late Neolithic Subsistence Strategy and Reservoir Effects in 14C Dating of Artifacts at the Pile-Dwelling Site Serteya II (NW Russia) // *Radiocarbon*. 2015. N 57. P. 611–623.

Lillie M., Budd C., Potekhina I., Hedges R. The radiocarbon reservoir effect: new evidence from the cemeteries of the middle and lower Dnieper basin, Ukraine // *Journ. of Archaeol. Science*. 2009. N 36. P. 256–264.

Lougheed B.C., Filipsson H.L., Snowball I. Large spatial variations in coastal 14C reservoir age — a case study from the Baltic Sea // *Climate of the Past*. 2013. N 9. P. 1015–1028.

Meadows J., Bērziņš V., Brinkerd U., Lübke H., Schmölcke U., Stauder A., Zagorskac I., Zariņac G. Dietary freshwater reservoir effects and the radiocarbon ages of prehistoric human bones from Zvejnieki, Latvia // *Journ. of Archaeol. Science: Reports*. 2015.

Motuzaitė-Matuzevičiute G., Lillie M., Telizhenko S. AMS Radiocarbon Dating from the Neolithic of Eastern Ukraine Casts Doubts on Existing Chronologies // *Radiocarbon*. 2015. N 57. P. 657–664.

Nomokonova T., Losey R.J., Goriunova O.g.I., Weber A.W. A freshwater old carbon offset in Lake Baikal, Siberia and problems with the radiocarbon dating of archaeological sediments: Evidence from the Sagan-Zaba II site // *Quaternary Intern. The Baikal-Hokkaido Archaeology Project: Environmental archives, proxies and reconstruction approaches*. 2013. N 290–291. P. 110–125.

Пресноводные резервуарные эффекты в Евразийской степной зоне...

- Olsen J., Heinemeier J., Lübke H., Lüth F., Terberger T. Dietary Habits and Freshwater Reservoir Effects in Bones from a Neolithic NE German Cemetery // Radiocarbon. 2010. N 52. P. 635–644.
- Osipov E.Y., Khlystov O.M. Glaciers and meltwaterflux to Lake Baikal during the Last Glacial Maximum // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2010. N 294 (1). P. 4–15.
- Prokopenko A.A., Williams D.F. Deglacial methaneemission signals in the carbon isotopic record of Lake Baikal // Earth and Planetary Science Letters. 2004. N 218 (1–2). P. 135–147.
- Schulting R., Bronk Ramsey C., Bazaliiskii V.I., Goriunova O.I., Weber A. Freshwater Reservoir Offsets Investigated through Paired Human-Faunal 14C Dating and Stable Carbon and Nitrogen Isotope Analysis at Lake Baikal, Siberia // Radiocarbon. 2014. N. 56. P. 991–1008.
- Schulting R.J., Bronk Ramsey C., Bazaliiskii V.I., Weber A. Highly Variable Freshwater Reservoir Effects Found along the Upper Lena Watershed, Cis-Baikal, Southeast Siberia // Radiocarbon. 2015. N 57. P. 581–593.
- Shishlina N.I., Plicht J.v.d., Hedges R.E.M., Zazovskaya E.P., Sevastyanov V.S., Chichagova O.A. The Catacomb cultures of the north-west Caspian Steppe: 14C chronology, reservoir effect, and palaeodiet // Radiocarbon. 2007. N 49. P. 713–726.
- Shishlina N.I., Zazovskaya E.P., van der Plicht J., Hedges R.E.M., Sevastyanov V.S., Chichagova O.A. Paleoecology, Subsistence, and 14C Chronology of the Eurasian Caspian Steppe Bronze Age // Radiocarbon. 2009. N 51. P. 481–499.
- Shishlina N., Zazovskaya E., van der Plicht J., Sevastyanov E.V. Isotopes, Plants, and Reservoir Effects: Case Study from the Caspian Steppe Bronze Age // Radiocarbon. 2012. N 54. P. 749–760.
- Shishlina N., Sevastyanov V., Zazovskaya E., van der Plicht J. Reservoir Effect of Archaeological Samples from Steppe Bronze Age Cultures in Southern Russia // Radiocarbon. 2014. N 56. P. 767–778.
- Sveinbjörnsdóttir Á., Heinemeier J., Arnorsson S. Origin of 14C in Icelandic groundwater // Radiocarbon. 1995. N 37. P. 551–565.
- Svyatko S.V., Schulting R.J., Mallory J., Murphy E.M., Reimer P.J., Khartanovich V.I., Chistov Y.K., Sablin M.V. Stable isotope dietary analysis of prehistoric populations from the Minusinsk Basin, Southern Siberia, Russia: A new chronological framework for the introduction of millet to the eastern Eurasian steppe // Journ. of Archaeol. Science. 2013. N 40. P. 3936–3945.
- Svyatko S.V., Mertz I.V., Reimer P.J. Freshwater Reservoir Effect on Redating of Eurasian Steppe Cultures: First Results for Eneolithic and Early Bronze Age Northeast Kazakhstan // Radiocarbon. 2015. N 57. P. 625–644.
- Wood R.E., Higham T.F.G., Buzilhova A., Suvorov A., Heinemeier J., Olsen J. Freshwater Radiocarbon Reservoir Effects at the Burial Ground of Minino, Northwest Russia // Radiocarbon. 2013. N 55. P. 163–177.

Svetlana V. Svyatko

14CHRONO Centre for Climate, the Environment and Chronology,
Queen's University Belfast
BT7 1NN, Northern Ireland, UK
E-mail: s.svyatko@qub.ac.uk

FRESHWATER RESERVOIR EFFECTS IN THE EURASIAN STEPPE ZONE AND THEIR INFLUENCE ON THE RADIOCARBON AGES OF BONE SAMPLES

Reservoir effects often hinder the accuracy of the radiocarbon dates from human and animal bone samples. The freshwater reservoir effect (FRE) refers to the difference between the radiocarbon age of the purely terrestrial sample (the ^{14}C content of which is comparable to the atmospheric ^{14}C level) and contemporary freshwater sample or any sample, in which part of ^{14}C comes from the reservoir with a lower level of ^{14}C compared to atmosphere. The latter samples include not only aquatic fauna, but also terrestrial animals, whose diet includes aquatic sources. The aim of this work is to demonstrate the widespread and variability of FREs on the territory of Russia and Kazakhstan, as well as to draw the attention of specialists working in the area to the necessity of taking into account this important and still not fully understood factor while dating the bones. To identify modern FREs, nine samples of modern fish of various species from six regions of Siberia and Kazakhstan have been radiocarbon dated. The results were compared with data from previous studies of FRE in the three regions. The following observations can be made: 1) the FRE is clearly present in all analysed regions, except of the Kharga Lake. The *Carassius* sample from the Kharga Lake showed only minor influence of FRE, however, to confirm the absence of the effect in this reservoir, further analysis of modern aquatic fauna is required; 2) the extent of the FRE in the area varies significantly between different reservoirs; 3) the FRE results within the same reservoir appear to be distinct for different species of fish. The four samples of fish from the middle Yenisei River (and its tributary Karasuk River, Minusinsk basin) revealed ca. 600 ^{14}C year difference in the FRE values between the samples. The difference between the two pike specimens from the Karasuk River is more than 100 ^{14}C years; 4) at the moment, the most significant FRE offsets (nearly 2,000 ^{14}C years) have been recorded in the upper Lena River (Irkutsk region).

Key words: freshwater reservoir effects, radiocarbon dating, Eurasian Steppe, modern fish.

DOI: 10.20874/2071-0437-2016-32-1-165-173

REFERENCES

- Ascough P.L., Cook G.T., Church M.J., Dunbar E., Einarsson Á., McGovern T.H., Dugmore A.J., Perdika-
ris S., Hastie H., Friðriksson A., Gestsdóttir H., 2010. Temporal and spatial variations in freshwater 14C reservoir
effects: Lake Myvatn, Northern Iceland. *Radiocarbon*, no. 52, pp. 1098–1112.
- Bronk Ramsey C., Higham T., Bowles A., Hedges R., 2004. Improvements to the Pretreatment of Bone at
Oxford. *Radiocarbon*, no. 46, pp. 155–163.
- Brown T.A., Nelson D.E., Vogel J.S., Southon J.R., 1988. Improved collagen extraction by modified Longin
method. *Radiocarbon*, no. 30, pp. 171–177.
- Cook G.T., Bonsall C., Hedges R.E.M., McSweeney K., Boroneant V., Pettitt P.B., 2001. A freshwater diet-
derived 14C reservoir effect at the Stone Age sites in the Iron Gates Gorge. *Radiocarbon*, no. 43, pp. 453–460.
- Cook G.T., Bonsall C., Hedges R.E.M., McSweeney K., Boroneant V., Bartosiewicz L., Pettitt P.B., 2002.
Problems of dating human bones from the Iron Gates. *Antiquity*, no. 76, pp. 77–85.
- Culleton B., 2006. Implications of a freshwater radiocarbon reservoir correction for the timing of late
Holocene settlement of the Elk Hills, Kern County, California. *Journ. of Archaeol. Science*. no. 33, pp. 1331–1339.
- Fernandes R., Dreves A., Nadeau M.J., Grootes P.M., 2013. A Freshwater Lake Saga: CarbonRouting
Within the Aquatic Food Web of Lake Schwerin. *Radiocarbon*, no. 55, pp. 1102–1113.
- Fernandes R., Rinne C., Nadeau M.-J., Grootes P., 2014. Towards the use of radiocarbon as a dietary proxy:
Establishing a first wide-ranging radiocarbon reservoir effects baseline for Germany. *Environmental Archaeology*.
- Fischer A., Heinemeier J., 2003. Freshwater Reservoir Effect in 14C Dates of Food Residue on Pottery.
Radiocarbon, no. 45, pp. 449–466.
- Goodfriend G., Flessa K., 1997. Radiocarbon reservoir ages in the Gulf of California; roles of upwelling and
flow from the Colorado River. *Radiocarbon*, no. 39, pp. 139–148.
- Higham T., Warren R., Belinskij A., Härke H., Wood R., 2010. Radiocarbon Dating, Stable Isotope Analysis, and
Diet-Derived Offsets in 14C Ages from the Klin-Yar Site, Russian North Caucasus. *Radiocarbon*, no. 52, pp. 653–670.
- Ingram B.L., Southon J.R., 1996. Reservoir Ages in Eastern Pacific Coastal and Estuarine Waters.
Radiocarbon, no. 38, pp. 571–582.
- Keaveney E.M., Reimer P.J., 2012. Understanding the variability in freshwater radiocarbon reservoir offsets:
a cautionary tale. *Journal of Archaeological Science*, no. 39, pp. 1306–1316.
- Kulkova M., Mazurkevich A., Dolbunova E., Regert M., Mazuy A., Nesterov E., Sinai M., 2015. Late Neolithic
Subsistence Strategy and Reservoir Effects in 14C Dating of Artifacts at the Pile-Dwelling Site Serteya II (NW
Russia). *Radiocarbon*, no. 57, pp. 611–623.
- Lillie M., Budd C., Potekhina I., Hedges R., 2009. The radiocarbon reservoir effect: new evidence from the
cemeteries of the middle and lower Dnieper basin, Ukraine. *Journal of Archaeological Science*, no. 36, pp. 256–264.
- Lougheed B.C., Filipsson H.L., Snowball I., 2013. Large spatial variations in coastal 14C reservoir age — a
case study from the Baltic Sea. *Climate of the Past*, no. 9, pp. 1015–1028.
- Meadows J., Bērziņš V., Brinkerd U., Lübke H., Schmölcke U., Stauder A., Zagorskac I., Zariņac G.,
2015. Dietary freshwater reservoir effects and the radiocarbon ages of prehistoric human bones from Zvejnieki,
Latvia. *Journal of Archaeological Science: Reports*.
- Motuzaitė-Matuzevičiute G., Lillie M., Telizhenko S., 2015. AMS Radiocarbon Dating from the Neolithic of
Eastern Ukraine Casts Doubts on Existing Chronologies. *Radiocarbon*, no. 57, pp. 657–664.
- Nomokonova T., Losey R.J., Goriunova O.G.I., Weber A.W., 2013. A freshwater old carbon offset in Lake
Baikal, Siberia and problems with the radiocarbon dating of archaeological sediments: Evidence from the Sagan-
Zaba II site. *Quaternary International. The Baikal-Hokkaido Archaeology Project: Environmental archives, proxies
and reconstruction approaches*, no. 290–291, pp. 110–125.
- Olsen J., Heinemeier J., Lübke H., Lüth F., Terberger T., 2010. Dietary Habits and Freshwater Reservoir
Effects in Bones from a Neolithic NE German Cemetery. *Radiocarbon*, no. 52, pp. 635–644.
- Osipov E.Y., Khlystov O.M. 2010. Glaciers and meltwaterflux to Lake Baikal during the Last Glacial
Maximum. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, no. 294 (1), pp. 4–15.
- Prokopenko A.A., Williams D.F., 2004. Deglacial methaneemission signals in the carbon isotopic record of
Lake Baikal. *Earth and Planetary Science Letters*, no. 218 (1–2), pp. 135–147.
- Schulting R., Bronk Ramsey C., Bazaliiskii V.I., Goriunova O.I., Weber A., 2014. Freshwater Reservoir
Offsets Investigated through Paired Human-Faunal 14C Dating and Stable Carbon and Nitrogen Isotope Analysis
at Lake Baikal, Siberia. *Radiocarbon*, no. 56, pp. 991–1008.
- Schulting R.J., Bronk Ramsey C., Bazaliiskii V.I., Weber A., 2015. Highly Variable Freshwater Reservoir Effects
Found along the Upper Lena Watershed, Cis-Baikal, Southeast Siberia. *Radiocarbon*, no. 57, pp. 581–593.
- Shishlina N.I., 2010. Novye dannye o rezervuarom effekte v Prikaspii (po materialam sovremennykh i
arkheologicheskikh obratsov) [New data on reservoir effect in Caspian Sea region (on materials from modern
and archaeological samples)]. *Problemy i periodizatsia arkheologicheskikh pamiatnikov i kultur Severnogo
Kavkaza. XXVI «Krupnovskie chteniia» po arkheologii Severnogo Kavkaza: Tez. dokl.*, Magas, pp. 371–373.
- Shishlina N.I., Plicht J.v.d., Hedges R.E.M., Zazovskaya E.P., Sevastyanov V.S., Chichagova O.A., 2007.
The Catacomb cultures of the north-west Caspian Steppe: 14C chronology, reservoir effect, and palaeodiet.
Radiocarbon, no. 49, pp. 713–726.

Пресноводные резервуарные эффекты в Евразийской степной зоне...

Shishlina N.I., Zazovskaya E.P., van der Plicht J., Hedges R.E.M., Sevastyanov V.S., Chichagova O.A., 2009. Paleoecology, Subsistence, and ^{14}C Chronology of the Eurasian Caspian Steppe Bronze Age. *Radiocarbon*, no. 51, pp. 481–499.

Shishlina N., Zazovskaya E., van der Plicht J., Sevastyanov E.V., 2012. Isotopes, Plants, and Reservoir Effects: Case Study from the Caspian Steppe Bronze Age. *Radiocarbon*, no. 54, pp. 749–760.

Shishlina N., Sevastyanov V., Zazovskaya E., van der Plicht J., 2014. Reservoir Effect of Archaeological Samples from Steppe Bronze Age Cultures in Southern Russia. *Radiocarbon*, no. 56, pp. 767–778.

Sveinbjörnsdóttir Á., Heinemeier J., Arnorsson S., 1995. Origin of ^{14}C in Icelandic groundwater. *Radiocarbon*, no. 37, pp. 551–565.

Svyatko S.V., Schulting R.J., Mallory J., Murphy E.M., Reimer P.J., Khartanovich V.I., Chistov Y.K., Sablin M.V., 2013. Stable isotope dietary analysis of prehistoric populations from the Minusinsk Basin, Southern Siberia, Russia: A new chronological framework for the introduction of millet to the eastern Eurasian steppe. *Journal of Archaeological Science*, no. 40, pp. 3936–3945.

Svyatko S.V., Mertz I.V., Reimer P.J., 2015. Freshwater Reservoir Effect on Redating of Eurasian Steppe Cultures: First Results for Eneolithic and Early Bronze Age Northeast Kazakhstan. *Radiocarbon*, no. 57, P. 625–644.

Wood R.E., Higham T.F.G., Buzilhova A., Suvorov A., Heinemeier J., Olsen J., 2013. Freshwater Radiocarbon Reservoir Effects at the Burial Ground of Minino, Northwest Russia. *Radiocarbon*, no. 55, pp. 163–177.