

УДК 631.4

РАДИОУГЛЕРОДНОЕ ДАТИРОВАНИЕ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ – РАЗВИТИЕ ИДЕЙ И.П. ГЕРАСИМОВА

© 2015 г. **О. А. Чичагова, Э. П. Зазовская**

*Институт географии РАН,
119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., 29
e-mail: ochichag@gmail.com*

Изложены идеи И.П. Герасимова о радиоуглеродном возрасте почв, приводятся введенные им в научный оборот понятия об относительном и абсолютном возрасте почв. Обсуждаются современные направления в датировании органического вещества почв. Анализируются представления о выделении “датирующей” фракции почв при радиоуглеродном датировании, вопросы интерпретации полученных данных в связи с новыми подходами в исследовании органического вещества почв. Выделены основные направления, существующие на сегодняшний день, в поиске новых “датирующих” фракций: датирование различных пулов органического вещества, датирование различных гранулометрических и денситометрических фракций. Рассматриваются проблемы использования радиоуглеродного датирования почв и седиментов в археологическом почвоведении. На примере результатов датирования, полученных при исследовании органического вещества культурных слоев раннесредневекового поселения, показано, что органическое вещество почв и педоседиментов археологических памятников может являться репрезентативным материалом как для построения хронологий, так и для детального анализа почвенных процессов, происходящих в антропогенно-измененных субстратах. В статье представлены основные направления исследований лаборатории радиоуглеродного датирования Института географии РАН. Показано, что на настоящий момент лаборатория находится на передовых рубежах развития радиоуглеродного метода и внедрила в практику исследований подготовку образцов – графитизацию углерода, для получения дат с помощью ускорительной масс-спектрометрии.

Ключевые слова: органическое вещество почв, датирующая фракция, радиоуглеродный возраст почв.

DOI: 10.19047/0136-1694-2015-81-160-176

ИДЕИ И.П. ГЕРАСИМОВА О РАДИОУГЛЕРОДНОМ ВОЗРАСТЕ ПОЧВ

Говорить об использовании нами, нашими коллегами и учениками всего научного наследия И.П. Герасимова мы не беремся. Однако, несомненно, представления И.П. Герасимова об абсолютном и относительном возрасте почв, определяемом по изотопу ^{14}C , получили широкое развитие, как благодаря уточнению и разработке основ радиоуглеродного метода, так и в связи с исследованиями, связанными с применением его в почвоведении, географии почв, палеогеографии, геоэкологии, археологии и др.

И.П. Герасимовым были введены в научный оборот понятия “абсолютный” и “относительный” возраст почв по радиоуглероду, соответственно, по биологически инертному и биологически активному углероду (Герасимов, 1976). На основе теоретических предпосылок и большого блока экспериментальных результатов было предложено называть результаты радиометрических определений для органического вещества (**ОВ**) почв (^{14}C -даты) “радиоуглеродным возрастом” ОВ, понимая под этим для верхних горизонтов современной (“живой”) почвы – скорость углеродного обмена; для нижней части профиля, за пределами биологического круговорота – минимальный радиоуглеродный возраст горизонта, определяемый долей инертного углерода в ОВ (Чичагова, 1996, 2005); для ископаемых почв – минимальное время их погребения, а для реликтовых горизонтов в профиле современных почв – минимальное время их существования, различающееся степенью сохранности или деградированности (Чичагова, 2005). Однако большинство погребенных почв и реликтовых горизонтов – это открыто-закрытые системы, в которых углерод гумуса слабо, но обменивается с атмосферой, в результате чего наблюдается его “омоложение”, что значительно усложняет интерпретацию полученных радиоуглеродных данные.

Полученные за последние 30 лет результаты определения продолжительности периода гумусообразования по радиоуглероду, коэффициента обновления ОВ современных и индекса омоложения ископаемых почв, скоростей потоков углерода в системе почва–атмосфера, скоростей углеродного обмена для почв разных природных зон, радиоуглеродного возраста карбонатных аккумуля-

ляций в почвах – все это позволило нам по-новому взглянуть на процессы, протекающие как в самой почве, так и в обменном резервуаре почва–атмосфера. Полученные оценки потоков углерода в почвах различных эпох голоцена стали основой прогнозирования их динамики в связи с изменением климата. Благодаря применению радиоуглеродных исследований в палеогеографии стали возможны разработка геохронологической шкалы плейстоцена и голоцена, проведение реконструкций природной среды и прогнозы ее изменения в связи с изменением климата, исследование хронологии этапов педогенеза и седиментогенеза, реконструкция, хронология и прогноз природных катастрофических процессов, уточнение хронологии, границ и времени существования различных культур.

Таким образом, представления И.П. Герасимова об относительном и абсолютном возрасте почв, впервые высказанные им в связи с применением радиоуглеродного метода для датирования почв, получили развитие, благодаря уточнению самого метода и исследованиям, связанным с его применением. Однако первенство в интерпретации почвенных радиоуглеродных данных, как показателей возраста почв, оценка различия относительного возраста гумуса современных лесных (“подзолистых”), степных (“черноземных”) и пустынных почв, обусловленного различной скоростью процесса почвообразования, свойственного тому или иному генетическому почвенному типу, выявление закономерностей изменения радиоуглеродных данных по профилю (удревнение дат с глубиной) в связи с возможным ростом почвы вверх, безусловно принадлежит академику И.П. Герасимову.

РАДИОУГЛЕРОДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ИГРАН

Лаборатория была создана в 1972 г. под руководством академика И.П. Герасимова в рамках отдела географии и эволюции почв. На протяжении многих лет ею руководила к.г.н. в.н.с. Чичагова О.А., в настоящее время – к.г.н., с.н.с. Зазовская Э.П.

Здесь следует напомнить, что радиоуглеродный метод был разработан в конце 40-х гг. XX в. У.Ф. Либби и его коллегами из университета Чикаго, США (Libby, 1955). За эту работу в 1960 г. он получил Нобелевскую премию по химии. В СССР первая радиоуглеродная лаборатория была создана уже в 1957 г. в Институ-

те истории материальной культуры АН СССР (на базе Радиового института им. В.Г. Хлопонина и ЛО ИА АН СССР) (Зайцева, Семенов, 2006). А уже в середине 60-х годов начались работы в Институте географии по созданию своей радиоуглеродной лаборатории, основным объектом исследования которой стало органическое вещество почв и седиментов. В настоящее время это единственная радиоуглеродная лаборатория в нашей стране и одна из немногих в мире, основным объектом исследования которой является органическое вещество современных и погребенных почв. Лаборатория имеет индекс ИГАН (международный индекс IGAN) и входит в лист радиоуглеродных лабораторий мира (<http://www.radiocarbon.org/Info/lablist.html>). Лаборатория участвует в международной программе тестирования “Intercomparison Radiocarbon Dating”, в которой представлены около 100 радиоуглеродных лабораторий мира, получая данные высокой степени достоверности и сопоставимости с контрольными измерениями.

В лаборатории, наряду с датированием ОБ почв, проводится датирование следующих углеродосодержащих материалов: древесины, угля, торфа, седиментов различного генезиса, костей человека и животных. Подготовка препаратов для датирования, очистка от загрязнений и посторонних примесей проводится как по стандартным, принятым в радиоуглеродном сообществе методикам (Mook, Stuiver, 1983; Bronk, 2008), так и с использованием методических и методологических разработок лаборатории. Измерение активности радиоуглерода производится на ультра-низкофоновом жидкостноцинтиляционном альфа/бета спектрометре-радиометре Quantulus 1220 (PerkinElmer, Финляндия). Отечественных аналогов подобных спектрометров не существует. Спектрометр-радиометр Quantulus 1220 является наиболее адаптированным для использования в лабораториях радиоуглеродного датирования. Он имеет пассивную и активную защиту от космического излучения, рекордные характеристики с точки зрения подавления фона, что позволяет получать точные значения активности радиоуглерода даже для образцов с низким его содержанием.

В первые десятилетия развития радиоуглеродного метода измерения ^{14}C производили только радиометрически с помощью газовых пропорциональных счетчиков или жидкостных сцинтиляционных счетчиков (Cook, van der Plicht, 2006). В 90-х гг. XX в.

произошла революция в радиоуглеродном датировании – появление ускорительной масс-спектрометрии (AMS), что позволило проводить датирование образцов весом меньше миллиграмма (Tuniz et al., 1998), а также совершенно новых для датирования материалов – текстильных остатков, отдельных аминокислот, керамики, неспецифических органических соединений, в том числе и почвенных (Bronk, 2008). В России в настоящее время нет полноценно работающей AMS-лаборатории. На базе ЦКП “Геохронология кайнозоя” в Новосибирске (с 2007 г.) идет создание первой в России радиоуглеродной AMS-лаборатории. В настоящее время получены первые даты, идут работы по усовершенствованию стабильности измерений (Растигиев и др., 2012; Марченко и др., 2013).

Наша лаборатория сделала первые шаги, для использования ускорительной масс-спектрометрии. В 2015 г. в Институте географии введен в эксплуатацию уникальный комплекс оборудования для графитизации углерода и производства мишеней для AMS-датирования (по гранту РФ №14-27-00133). Графитизатор AGE-3 в комплексе с элементным анализатором Vario Isotope собран в Швейцарском техническом университете (ETH) и может производить до 21 образца графита в сутки и соответственно мишеней с графитом для измерения радиоуглеродного возраста.

Установка AGE-3 – в настоящее время первая в России (все-го в мире существует 35 таких аппаратов), она обладает высокими техническими характеристиками и является на сегодняшний день единственной в мире полностью автоматизированной установкой для графитизации проб для углеродного анализа. Получены первые образцы графита, в том числе и из гуминовых кислот, сделаны и переданы в Университет Джорджии (США) мишени с графитом для измерения радиоуглеродного возраста на AMS. Несмотря на то, что на данный момент лаборатория не может сама производить полный цикл датирования с помощью ускорительной техники, возможность получать образцы графита из препарата, очень важна именно при работе с почвенными объектами, так как позволяет выделить датирующую фракцию и использовать весь багаж знаний, для обработки и очистки ОБ почв. Исследования радиоуглеродного возраста почв, с применением ускорительной масс-спектрометрии позволяют расширить представления как о генези-

се ОВ, скоростях и направлениях углеродного обмена в почвах, так и датировать такие объекты, которые раньше были непригодны для определения возраста, из-за низкого содержания в них органического углерода, например, почвоподобные тела экстремальных условий (пустынь, высоких широт и т.п.).

В настоящее время основными направлениями работы лаборатории являются следующие:

1. Радиоуглеродное датирование органического вещества почв, выявление датирующих фракций для разных типов почв и почвоподобных тел.

2. Интерпретация почвенных радиоуглеродных данных. Использование почвенных радиоуглеродных данных для палеогеографических, палеопочвенных исследований.

3. Исследование скоростей углеродного обмена в системе почва–атмосфера с использованием радиоуглеродных данных и с применением имеющихся моделей.

4. Датирование ОВ вещества почв и седиментов в археологическом почвоведении.

5. Исследования “эффекта резервуара” – мнимого радиоуглеродного возраста, связанного со сдвигом в углеродном обмене, для коллагена костей животных и человека и других углеродосодержащих материалов, в том числе и седиментов разного генезиса.

6. Использование радиоуглеродных данных, полученных для разных углеродосодержащих материалов, для построения хронологий в археологических исследованиях.

ДАТИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ. ВЫБОР ДАТИРУЮЩЕЙ ФРАКЦИИ

Современные почвы, благодаря биологическому круговороту и постоянному обновлению ОВ, являются открытыми в отношении углеродного обмена системами, а большинство реликтовых горизонтов, погребенных и ископаемых почв – открыто-закрытыми системами. Очевидно, что почвенный материал сложен для датирования, так как его ОВ гетерохронно и состоит из разных построению, генезису и возрасту фракций. Оно подвержено различным преобразованиям, связанным как с трансформацией в результате биологического круговорота в процессе почвообразования (в

случае современных почв), так и со временем и условиями погребения (в случае ископаемых почв). Исходя из этого, исследование возраста различных фракций ОВ почв и генетическая интерпретация полученных результатов является актуальной и важной до сих пор задачей.

И.П. Герасимовым и О.А. Чичаговой (1971) была разработана методика подготовки ОВ для получения достаточного количества углеродсодержащего препарата для синтеза бензола при сцинтилляционном методе датирования. Благодаря этим работам (при участии НИГЭИ, ЛГУ и ГЕОХИ) впервые был определен радиоуглеродный возраст “курского чернозема”, а затем и других типов почв. Исходя из имеющихся на тот момент представлений об ОВ и принятых в химии почв схем фракционирования, а также на основании большого массива полученных данных, было предложено определять “датирующую” (наиболее древнюю) фракцию для различных типов современных и для ископаемых почв (Чичагова, 1985; Чичагова, Черкинский, 1985). Установлено, что ими являются преобладающие, накапливающиеся фракции, т.е. наиболее биохимически и термодинамически устойчивые для данного типа гумуса. Так, для гумуса черноземов, где возраст фракций резко различается, “датирующими” фракциями были названы гуматы Са и гуминовые кислоты (ГК), прочно связанные с минеральной частью почвы. В гумусе почв подзолистого ряда все фракции близки по возрасту, однако преобладающая фракция ГК1 является наиболее древней. В гидроморфных подзолах преобладающей и накапливающейся является фракция фульвокислот (ФК), входящая в сложные комплексные связи с минеральной частью почвы: она и имеет наибольший возраст. Таким образом, ФК могут также являться “датирующей” фракцией в случае, если они накапливаются в виде прочных органо-минеральных соединений, например, в иллювиально-гумусовом горизонте глеевого ортзандового подзола или в самом ортзанде, где их возраст превышает возраст ГК. В гумусе ископаемых почв “датирующими” являются фракции ГК2+3, прочно связанные с минеральной частью почвы. Эти методологические подходы широко использовались и используются не только в нашей, но и в других радиоуглеродных лабораториях России и мира. В настоящее время накоплен большой массив радиоуглеродных данных, полученных как для поверхност-

ных, так и для погребенных почв. База данных лаборатории насчитывает более 2000 определений возраста ОВ почв.

В настоящее время мы наблюдаем изменение представлений об ОВ почв. На смену традиционным понятиям о том, что гуминовые вещества – это высокомолекулярные, поперечно сшитые макромолекулы переменного состава и строения, приходит концепция о том, что это сложная смесь дериватов известных органических соединений, состав которой зависит от происхождения образца и технологии экстракции. Т.е. гуминовые вещества – это супрамолекулярные ассоциаты со слабыми межмолекулярными взаимодействиями (Piccolo, 2002). Очевидно, что, исходя из такой концепции, необходимо пересматривать и взгляд на “датирующую” фракцию и интерпретацию почвенных радиоуглеродных данных. Можно выделить несколько направлений, существующих на сегодняшний день, в поиске новых “датирующих” фракций (Six, Jastrow, 2002; Chenu, Plante, 2006 и др.):

- 1) датирование ОВ разных гранулометрических фракций;
- 2) датирование ОВ различных денситометрических фракций;
- 3) датирование различных пулов ОВ, например, таких как частично разложенные растительные остатки, биомасса микроорганизмов, органические кутаны на минеральных поверхностях, “черный углерод”, водорастворимое ОВ и др.

В целом при использовании любого из выше изложенных подходов, получаем разновозрастные фракции, однако до полного генетического осмысления этих данных пока далеко. Возможности, которые раскрывает использование ускорительного датирования, позволят получить большой массив радиоуглеродных данных для различных фракций ОВ, выделяемых из гетерогенной совокупности компонентов ОВ для разных типов почв. Эту задачу сейчас и решает лаборатория (Чичагова и др., 2008; Чичагова, Зазовская, 2013).

РАДИОУГЛЕРОДНОЕ ДАТИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ И СЕДИМЕНТОВ В АРХЕОЛОГИЧЕСКОМ ПОЧВОВЕДЕНИИ

Обращаясь к истории развития радиоуглеродного метода, стоит отметить, что первые радиоуглеродные даты были получены для образцов из археологических объектов (Libby, 1955).

При определении возраста собственно археологических объектов предпочтение отдается таким углеродосодержащим материалам, которые могут наиболее точно отражать возраст исследуемых объектов: углю, древесине, костям. Органическое вещество погребенных почв, культурных слоев (КС) поселений и педоседиментов представляет сложный для интерпретации ^{14}C -данных материал, так как не всегда датирует время события (время создания, существования памятника, погребения и т.п.). Тем не менее, во многих случаях (отсутствие других материалов для датирования или их плохая сохранность) радиоуглеродное определение возраста ОВ почв и заполнителя культурного слоя дает возможность получать с достаточной степенью точности необходимые и единственно возможные даты (Alexandrovsky at al., 2013). Ключевыми вопросами при датировании ОВ почв и седиментов археологических памятников становятся выбор собственно объекта исследования, датирующей фракции ОВ и интерпретация полученных результатов.

Можно выделить следующие основные объекты археологического почвоведения, где возможно датирование ОВ почв и седиментов:

- 1) ОВ почв, погребенных под курганными насыпями, и в комплексе с ними ОВ почв надкурганных насыпей и фоновых почв;
- 2) ОВ заполнителя культурного слоя поселений;
- 3) ОВ естественных почв или педоседименты, залегающие под КС;
- 4) ОВ палеопочв и педоседиментов, сопровождающих археологические памятники.

Радиоуглеродное датирование ОВ проводится для объектов, собственно не являющихся почвенными, но с применением методов и подходов органической химии почв. Это могут быть нагары и остатки пищи на/в керамическом материале, текстильные остатки; плохо сохранившиеся растительные остатки, органические красители (например, при изучении наскальных рисунков) и многое другое.

Остановимся на результатах, полученных при датировании ОВ заполнителя культурного слоя и педоседиментов. Нами был проанализирован большой массив данных результатов параллель-

ного радиоуглеродного датирования заполнителя культурного слоя, древесины, угля, кости из разновозрастных поселений, расположенных в разных природно-климатических зонах. Полученные результаты сравнивали с радиоуглеродными данными для гумусовых горизонтов фоновых почв. Рассматривали данные, полученные для памятников, расположенных в средней, южной тайге, лесостепи, степи, пустынно-степной зоне. Выявлены следующие общие закономерности: при движении с севера на юг (до степной зоны) в разных климатических зонах: разница между радиоуглеродным возрастом ОВ вещества КС и других углеродосодержащих материалов “закрытых систем” увеличивается в связи со спецификой ОВ зональных почв. Показано, что для зон, где фоновые почвы имеют наибольшее характерное время почвообразования, выявляется наибольшая разница дат, полученных по ОВ заполнителя КС, другим углеродосодержащим материалам и собственно археологическим возрастом (Зазовская, Чичагова, 2014).

Несмотря на выявленную закономерность, при детальном анализе дат, полученных для одного памятника как по ОВ, так и по другим материалам, возможны и другие интерпретации результатов. Приведем несколько примеров. С.А. Сычевой и др. (2005) отмечено, что для раннеславянских памятников Курского посемья, наиболее предпочтительными (коррелирующими с археологическим возрастом) оказались даты, полученные по гуминовым кислотам из насыщенных органическими остатками нижних слоев археологических хозяйственных ям. Высказано предположение, что ОВ заполнения ям сформировалось за время бытования памятника за счет преобразования бытовых отходов жизнедеятельности. А закрытость ям, делает их малодоступными для последующего диагенеза ОВ. Это предположение нашло подтверждение при анализе данных для Гнездовского археологического комплекса (Смоленская область). Гнездовский археологический комплекс (ГАК) прекрасно датирован археологами, существует большая серия радиоуглеродных дат по разным углеродосодержащим материалам, полученным для уточнения временных интервалов существования разных хозяйственных объектов и ландшафтных реконструкций. Анализ результатов радиоуглеродного датирования разных углеродосодержащих материалов из культурного слоя: угля, древесины, торфа, ОВ заполнителя КС – позволил сделать сле-

дующие выводы. Сходимость радиоуглеродных дат, полученных по ОВ, с датами для других углеродосодержащих материалов (угля, в редких случаях древесины) из того же археологического контекста наблюдается для нижних частей глубоких хозяйственных ям (экспонированный КС) и, в некоторых случаях, для нижних частей КС, перекрытого аллювиальными отложениями (таблица).

Можно говорить, что эти объекты являются закрытыми системами (как и в предыдущем примере), и ОВ сформировалось за счет гумификации антропогенного вещества, привнесенного за время бытования. Очевидно, что в придонных частях глубоких археологических ям, которые в профиле естественных почв вклиниваются в гор. ВГ или почвообразующую породу, количество унаследованного почвенного органического углерода ничтожно мало или отсутствует вовсе (содержание органического углерода в гор. ВГ фонового дерново-подзола составляет 0.12%). Антропогенные органические остатки, поступившие в процессе жизнедеятельности человека, с одной стороны подвергались частичной минерализации, с другой стороны происходили процессы гумификации. В условиях повышенной щелочности (свойственной материалу КС), формируется органическое вещество, отличающееся по свойствам от органического вещества фоновых почв. В том числе устойчивые органо-минеральные соединения, например, с фосфатами кальция. А.А. Александровский и др. (Alexandrovsky at al., 2013), предложили называть гумус, сформированный в культурных слоях поселений из антропогенного органического вещества, “археологическим гумусом”. Авторами показана хорошая сходимость радиоуглеродных дат, полученных по “археологическому гумусу”, с археологическими и дендрохронологическими датировками. Мы же обращаем внимание на устойчивость “археологического гумуса” после забрасывания поселений. Эта устойчивость, по нашему мнению, может объясняться несколькими факторами: глубиной залегания от дневной поверхности; внутрпочвенными условиями, способствующими формированию малоподвижных органических соединений; преимущественным поступлением антропогенного вещества пылевой фракции, а, как известно, максимальной устойчивостью обладает органическое вещество пылевых частиц (Christensen, 1987), микробиологической устойчиво-

Таблица 1. Результаты радиоуглеродного датирования ОБ и угля из культурного слоя

Лабораторный номер ИГАН	Описание образца	Радиоуглеродный возраст, лет назад (BP)	Интервал калиброванного возраста на 1σ: cal BP-лет назад, [начало : конец] вероятность
2641	Уголь из КС, 150–170 см	1040±90	[800 BP : 812 BP] 0.040179 [828 BP : 863 BP] 0.132177 [902 BP : 1059 BP] 0.827644
2646	КС мощный, 180–200 см	1130±30	[980 BP : 1037 BP] 0.790287 [1046 BP : 1062 BP] 0.209713
2471	КС мощный, 160–170 см	1180±80	[984 BP : 1033 BP] 0.22903 [1049 BP : 1179 BP] 0.729867 [1213 BP : 1223 BP] 0.041103
2436	КС, погребенный аллювиальными отложениями, 190–200 см	1080±70	[929 BP : 1061 BP] 1
2435	КС мощный, 155–165 см	1150±50	[981 BP : 1036 BP] 0.425089 [1047 BP : 1093 BP] 0.341352 [1106 BP : 1137 BP] 0.196165 [1162 BP : 1167 BP] 0.037394
1801	КС средне-мощный, 70–80 см	1240±80	[1081 BP : 1114 BP] 0.173931 [1119 BP : 1263 BP] 0.826069
2469	КС средне-мощный, 75–85 см	1220±100	[1059 BP : 1265 BP] 1
2265	Гор. АУ фоновой почвы, погребенной аллювиальными отложениями	1200±100	[1007 BP : 1029 BP] 0.088929 [1053 BP : 1187 BP] 0.667263 [1201 BP : 1259 BP] 0.243808
1804	Уголь из КС, 75–85 см	1020±120	[794 BP : 1017 BP] 0.876855 [1022 BP : 1056 BP] 0.123145

стью – антропогенное ОБ “невкусно” или мало съедобно для почвенных микроорганизмов (Дроздова и др., 2001; Marfenina at al., 2005).

Для ОВ вещества из КС небольшой мощности (10–80 см) или частей КС, залегающих неглубоко от дневной поверхности (речь идет об экспонированных КС ГАК), характерно удревание дат для ОВ на 100–200 радиоуглеродных лет, что, по нашему мнению, может иметь два объяснения: 1) разбавление “археологического гумуса” старым углеродом доантропогенной стадии; 2) извлекаемая датирующая фракция (гуминовые кислоты) была сформирована в доантропогенный период существования естественной почвы. Второе объяснение хорошо согласуется с радиоуглеродным возрастом, полученным для гумусово-аккумулятивных горизонтов почв, погребенных в бортах Днепра, и соответствующих, по нашему мнению, времени начала формирования ГАК. А также с данными, полученными при исследовании морфологии органического вещества (Зазовская, 2013). Материалы детальных морфологических исследований, позволяют предположить, какие из существующих морфологических компонентов ОВ относятся к доантропогенной стадии, периоду бытования (антропогенной трансформации), и постантропогенной стадии. Возраст гуминовых кислот, выделенных из средней части экспонированного КС, соответствует интервалу калиброванного возраста [1100–1260] лет назад. Иерархический морфологический анализ и эксперимент по последовательному удалению ОВ химическими обработками и последующим анализом мезо- и субмикроморфологических свойств показал, что датирующая фракция была извлечена в основном из гумусовых пленок, покрывающих минеральные зерна (Зазовская, 2013). Полученный радиоуглеродный возраст показывает, что, несмотря на то, что изученные КС экспонированы, углеродного обмена между углеродом пленок и резервуаром земли практически не происходит. Это позволяет говорить о том, что эти компоненты органического вещества сформировались на доантропогенной стадии существования почв. Важно отметить, что в современных условиях углерод гумусовых пленок является инертным. С одной стороны, это подтверждается многочисленными данными о диагенетической устойчивости и аккумулятивном характере гуминовых кислот (Дергачева, 1984), а с другой, исследованиями последних лет лабильного и устойчивого пулов органического углерода, показывающими, что в почве происходит преимущественное разложение молодых лабильных субстратов (Ларионова и др., 2011). По

мнению исследователей, это является основным механизмом, определяющим баланс углерода в почве (Ларионова и др., 2011). Следовательно, экспонированность наших объектов в поле современных факторов почвообразования является некоей основой сохранности антропогенного ОВ, так как разложению в первую очередь подвергается вновь поступившее ОВ. Возраст, полученный по углям из этого же горизонта, имеет интервал калиброванного возраста [800–1060] лет назад (BP), что соответствует археологическому возрасту изученного объекта. Очевидно, что углистый материал накоплен в период бытования.

Подводя итоги, можно говорить, что ОВ почв и педоседиментов археологических памятников является репрезентативным материалом как для получения дат для археологов, так и для детального анализа почвенных процессов, происходящих в КС и педоседиментах, и для исследования ОВ антропогенно-измененных субстратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в мировой практике при изучении процессов генезиса и эволюции почв используется несколько подходов к датированию органического вещества почв.

1. Наиболее распространенный из них датирование почв по общему углероду (total carbon). Этот способ наименее трудоемкий и чаще всего используется при датировании палеопочв для целей палеогеографических и геоархеологических реконструкций.

2. Определение возраста фракций органического вещества, полученных путем химического фракционирования по растворимости.

3. Определение возраста пулов органического вещества с разной биогеохимической активностью компонентов, которые выделены разными способами фракционирования

Основным направлением исследования остается поиск наиболее устойчивых и древних компонентов органического вещества почв. Выбор “датирующей фракции” определяется генезисом исследуемых объектов и задачами, стоящими перед исследователями.

Надо учитывать, что современные методы определения радиоуглеродного возраста разных углеродосодержащих материалов

развиваются быстрее, чем наши представления о функциональных особенностях органического вещества почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Герасимов И.П.* Абсолютный и относительный возраст почв, определяемый по радиоактивному изотопу углерода гумуса // Генетические, географические и исторические проблемы современного почвоведения. М.: Наука, 1976. С. 269–283.
2. *Герасимов И.П., Чичагова О.А.* Некоторые вопросы радиоуглеродного датирования почвенного гумуса // Почвоведение. 1971. № 10. С. 3–11.
3. *Дергачева М.И.* Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука, 1984. 155 с.
4. *Дроздова Н.С., Терехова В.А., Зазовская Э.П., Трофимов С.Я.* Разложение органического вещества почв древнерусских поселений при интродукции микромицетов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2001. № 4. С. 39–44.
5. *Зазовская Э.П.* Палеоурбаноземы раннесредневековых предгородских центров: генезис и устойчивость: Автореф. дис. ... к. геогр. н. М., 2013. 23 с.
6. *Зазовская Э.П., Чичагова О.А.* Радиоуглеродное датирование органического вещества почв и седиментов: опыт применения в археологическом почвоведении // Мат-лы Всерос. конф. по археологическому почвоведению, посвященной памяти проф. В.А. Демкина. Пушино, 2014. С. 25–29.
7. *Зайцева Г.И., Семенцов А.А.* Некоторые факты из истории создания первых радиоуглеродных лабораторий в России // Радиоуглерод в археологических и палеоэкологических исследованиях. СПб., 2006. С. 17–23.
8. *Ларионова А.А., Золотарева Б.Н., Евдокимов И.В., Быховец С.С., Кузьяков Я.В., Бюггер Ф.* Идентификация лабильного и устойчивого пулов органического вещества в агросерой почве // Почвоведение. 2011. № 6. С. 685–698.
9. *Марченко Ж.В., Панов В.С., Орлова Л.А.* Начальные результаты по датированию археологических памятников эпохи голоцена на УМС в ЦКП СО РАН “Геохронология кайнозоя”: экспериментальные ^{14}C и сравнительный анализ данных // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. 2013. № XIX. С. 244–250.
10. *Растигизев С.А., Фролов А.Р., Гончаров А.Д., Ключев В.Ф., Константинов Е.С., Кутнякова Л.А., Пархомчук В.В., Петрожицкий А.В.* Развитие комплекса УМС ИЯФ в ЦКП СО РАН // ВАНТ. 2012. № 3(79). С. 188–190.
11. *Сычева С.А., Узянов А.А., Чичагова О.А.* Корреляция археологического и радиоуглеродного возраста культурных слоев раннеславянских па-

мятников Курского Посеймья // Ю.А. Липкинг и археология Курского края. Курск, 2005. С. 46–49.

12. *Чичагова О.А.* Радиоуглеродное датирование гумуса почв. М.: Наука, 1985. 158 с.

13. *Чичагова О.А.* Развитие идей И.П. Герасимова в области радиоуглеродных исследований // Многоликая география. Развитие идей Иннокентия Петровича Герасимова. М., 2005. С. 163–180.

14. *Чичагова О.А., Зазовская Э.П.* Радиоуглеродные исследования органического вещества почв: современные подходы к определению “датирующей фракции” // Тез. докл. XVIII Всерос. школы “Экология и почвы”. “Почва и окружающая среда”. Пушкино, 2013. С. 48–49

15. *Чичагова О.А., Хохлова О.С., Зазовская Э.П., Горячкин С.В.* Радиоуглеродный анализ и проблемы памяти почв // Память почв. Почва как память биосферно-геосферно-атмосферных взаимодействий. М., 2008. С. 182–203.

16. *Чичагова О.А., Черкинский А.Е.* Проблема радиоуглеродного датирования почв // Почвоведение. 1985. № 11. С. 63–75.

17. *Alexandrovsky A.L., Dolgikh A.V., Skripkin V.V.* Archaeological humus as an object of ^{14}C dating // ^{14}C and archaeology. 7th international symposium. Book of abstract. Ghent, 2013. P. 91–92.

18. *Bronk R.C.* Radiocarbon dating: revolutions in understanding // Archaeometry. 2008. Vol. 50(2). P. 249–275.

19. *Chenu C., Plante F.* Clay-sized organo-mineral complexes in a cultivation chronosequence: revisiting the concept of the ‘primary organo-mineral complex’ // European J. Soil Sci. 2006. Vol. 57(4). P. 596–607.

20. *Christensen B.T.* Decomposability of organic matter in particle size fractions from field soils with straw incorporation // Soil Biol. Biochem. 1987. Vol. 19. P. 439–425.

21. *Cook G.T., van der Plicht J.* Radiocarbon dating // Encyclopedia of Quaternary Science. Elsevier, 2006. P. 289–291.

22. *Libby W.F.* Radiocarbon dating. Chicago, University of Chicago Press, 1955. 175 p.

23. *Marfenina O.E., Ivanova A.E., Kislova E.E.* The comparison of mycological properties of anthropogenically transformed soils of medieval urban centres and modern urban soils // SUITMA 2005. Abstracts book. Cairo, Egypt. 2005. P. 89–91.

24. *Mook W.G., Streurman H.J.* Physical and chemical aspects of radiocarbon dating // Proc. Groningen Symp. ^{14}C and Archaeology. 1983. № 8. P. 31–55.

25. *Piccolo A.* The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science // Advances in Agronomy. 2002. Vol. 75. P. 57–134.

26. *Six J., Jastrow J.D.* Organic matter turnover // *Encyclopedia of Soil Science*. 2002. P. 936–942.

27. *Tuniz C., Bird J.R., Fink D., Herzog G.F.* *Accelerator Mass Spectrometry: ultrasensitive analysis for global science*. Boca Raton, 1998. 371 p.

RADIOCARBON DATING: PAST, PRESENT-DAY AND FUTURE – DEVELOPMENT OF I.P. GERASIMOV IDEAS

O. A. Chichagova, E. P. Zazovskaya

*Institute of geography RAS,
119017, Russia, Moscow, Staromonetnyi pereulok, 29*

The ideas of I.P. Gerasimov on the radiocarbon soil age are outlined; the notions of absolute and relative soil age introduced by him are defined. Current trends in organic matter dating are discussed. The proposals on the “dating” soil fraction by the radiocarbon method are considered, as well as interpretations of the data obtained as related to new approaches in the studies of soil organic matter. The recent trends in search of new “dating” fractions are the following: dating of different pools of organic matter, dating of particle-size and densitometric fractions. The problems of radiocarbon dating application to soils and sediments in archaeological soil science are discussed. Basing on the results of dating performed for the organic matter of cultural layers of Early Medieval settlement it is shown that the organic matter of soils and pedosediments in archaeological objects may be a reliable source of information either for compiling chronological schemes, so for a comprehensive analysis of soil-forming processes operating in humanly modified materials. It is shown that the Radiocarbon Laboratory of the Institute of geography, RAS, is now applying progressive methodology, among which the preparation of samples – carbon graphitization to obtain data by means of accelerated mass-spectrometry is worth mentioning.

Key words: soil organic matter, dating fraction, radiocarbon soil age.