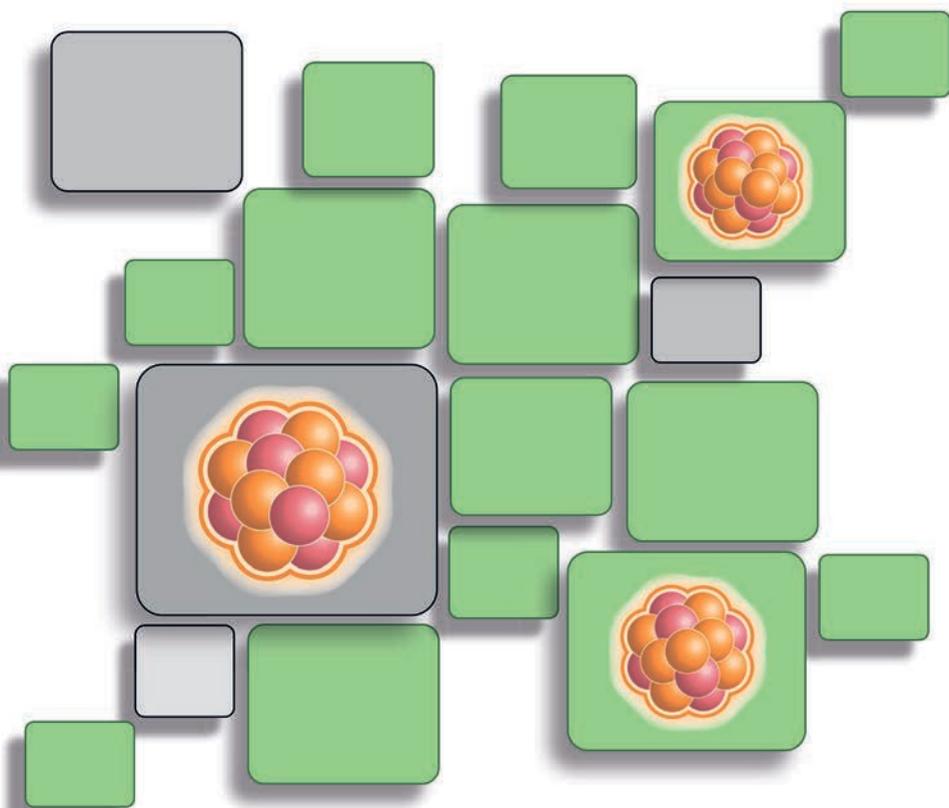


Российская академия наук
Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И.Вернадского



**XXII Симпозиум по геохимии изотопов
имени академика А.П.Виноградова**

29–31 октября
Москва 2019

Расширенные тезисы докладов

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ ГЕОХИМИИ
УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ
им. В.И. ВЕРНАДСКОГО

XXII СИМПОЗИУМ
ПО ГЕОХИМИИ ИЗОТОПОВ
имени
академика А.П. Виноградова

РАСШИРЕННЫЕ ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

29 – 31 октября 2019 г.

Москва
2019

**XXII симпозиум по геохимии изотопов имени академика
А.П. Виноградова (29-31 октября 2019 г.) Расширенные тезисы докладов/ ГЕОХИ РАН – М: Акварель, 2019. – 560 с.**

ISBN 978-5-904787-78-3

ISBN 978-5-904787-78-3

©Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. ВЕРНАДСКОГО

ОРГАНИЗАТОРЫ:

Отделение Наук о Земле РАН
Научный Совет по проблемам геохимии РАН
Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН

ОРГКОМИТЕТ:

Председатель:

ГАЛИМОВ Э.М., ГЕОХИ РАН

Заместители председателя:

ЧЕРНЫШЕВ И.В., ИГЕМ РАН
КОСТИЦЫН Ю.А., ГЕОХИ РАН

Учёные секретари:

БУЙКИН А.И., ГЕОХИ РАН
СЕВАСТЬЯНОВ В.С., ГЕОХИ РАН

Программная комиссия:

ГАЛИМОВ Э.М., ГЕОХИ РАН – председатель
БУЙКИН А.И., ГЕОХИ РАН
ДУБИНИНА Е.О., ИГЕМ РАН
ИГНАТЬЕВ А.В., ДВГИ ДВО РАН
КАМИНСКИЙ Ф.В., ГЕОХИ РАН
КОСТИЦЫН Ю.А., ГЕОХИ РАН
ПОКРОВСКИЙ Б.Г., ГИН РАН
ПОЛЯКОВ В.Б., ИЭМ РАН
РЕУТСКИЙ В.Н., ИГМ СО РАН
СЕВАСТЬЯНОВ В.С., ГЕОХИ РАН
ШИЛОБРЕЕВА С.Н., ГЕОХИ РАН
ЧЕРНЫШЕВ И.В., ИГЕМ РАН
ШАТАГИН К.Н., ИГЕМ РАН

Организационная группа:

ИВАНИЦКИЙ О.М., ГЕОХИ РАН
ДУШЕНКО Н.В., ГЕОХИ РАН
КУЗНЕЦОВА О.В., ГЕОХИ РАН
КУЛИКОВСКИЙ В.Е., ГЕОХИ РАН
СОМСИКОВА А.В., ГЕОХИ РАН
ФЕДУЛОВ В.С., ГЕОХИ РАН
ФЕДУЛОВА В.Ю., ГЕОХИ РАН
ФУГЗАН М.М., ГЕОХИ РАН

Симпозиум организован при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований (проект 19-05-20110)
и Министерства науки и высшего образования

^{137}Cs И ^{90}Sr КАК МАРКЕРЫ МИГРАЦИИ ВЕЩЕСТВА В ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Коробова Е.М.¹, Романов С.Л.², Тарасов О.В.³, Березкин В.Ю.¹,
Долгушин Д.И.¹, Баранчуков В.С.¹, Модоров М.В.⁴, Лукьянов В.В.⁵
¹ГЕОХИ РАН (*korobova@geokhi.ru*); ²УП «Геоинформационные
системы» (Минск, РБ); ³ФГУП «ПО «МАЯК», ⁴ИЭРиЖ УрО РАН;
⁵НИЦ «Курчатовский институт»

Метод меченых атомов успешно используется при решении ряда задач в медицине, биологии и в сельском хозяйстве. Поступая в биосферу чаще всего в виде разовых локализованных выбросов, искусственные радиоизотопы (РИ), будучи наложенными на поверхность существующего почвенно-растительного покрова, затем специфически перераспределяются в поверхностных слоях педосферы и гидросферы, формируя своеобразные геохимические поля, анализ структуры которых позволяет контролировать протекание множества процессов миграции и обмена, происходящих в системе почва-вода-растение-человек. В этом отношении наиболее распространенными и удобными для исследования являются радиоизотопы ^{137}Cs и ^{90}Sr , периоды полураспада которых сопоставимы с продолжительностью жизни человека и, соответственно, составляют 30.17 и 28.8 лет.

Цели, задачи и методы исследований

Познание закономерностей пространственного распределения химических элементов в биосфере - один из важнейших разделов современной геохимии. Благодаря стремительному прогрессу в области создания новых аналитических методов и средств автоматической обработки больших объемов информации появилась возможность исследования структуры геохимических полей элементов на разных уровнях их пространственной организации.

Целью данной работы явилось выявление закономерностей пространственного перераспределения вещества в элементарных ландшафтно-геохимических системах (ЭЛГС) типа: вершина – склон – замыкающее понижение. Нулевая гипотеза, проверяемая с использованием радиоактивных маркеров (^{137}Cs и ^{90}Sr), заключается в том, что исходно равномерное первичное поле РИ трансфор-

мируется однонаправленным потоком миграции ЭЛГС и может быть сведено к процессу повсеместного перемещения вещества вниз от вершины к замыкающему понижению.

Районы и методы исследований

Для достижения поставленной цели были выбраны репрезентативные объекты исследования с высокой степенью первичного радиоактивного загрязнения: 1) возникшая в результате аварии на Чернобыльской АЭС 1986 года зона отселения в Новозыбковском районе Брянской области, характеризующаяся значительным (свыше 1480 кБк/м² или 40 Ки/км²) уровнем загрязнения ¹³⁷Cs и 2) головная часть Восточно-Уральского радиоактивного следа, сформировавшегося в результате так называемой Кыштымской аварии 1957 года, характеризующегося сверхвысокими даже по состоянию на 2007 год (свыше 300 Ки/км²) уровнями загрязнения ⁹⁰Sr и одновременно высокими (порядка 50 Ки/км²) уровнями загрязнения ¹³⁷Cs вследствие разноса загрязненных радиоактивными отходами отложений озера Карачай (1967 г.). Это позволило проводить измерение активности РИ непосредственно в полевых условиях с помощью модернизированного гамма-спектрометра Violinist-III (Романов и др., 2011) и спектрометрического комплекса СКС-08П «Колибри» с блоком детектирования удельных активностей бета-излучающих радионуклидов ⁹⁰Sr(⁹⁰Y) (Потапов, 2005). Измерения проводились как непосредственно на поверхности почвы в узлах предварительно разбитой регулярной сети, так и послойно в образцах из почвенных кернов, отобранных без нарушения структуры почвы до глубины 40 см.

В пределах каждого из объектов было выделено несколько репрезентативных ЭЛГС, характеризующихся выраженным рельефом, наличием замыкающих понижений и отсутствием антропогенных воздействий, способных значимо изменить картину вторичного перераспределения выпавших РИ. Все это позволило получить картину распределения РИ в двух- и трехмерном пространстве. Кроме того, в ряде точек измерений методом стандартного кольца диаметром 14 см параллельно отбирались образцы наиболее распространенных видов наземной растительности. Удельная активность ¹³⁷Cs в воздушно-сухих образцах почвы и

растений определялась камерально на гамма-спектрометре фирмы Canberra (США).

Специфика вертикального распределения радионуклидов в почвах

Общий запас и параметры вертикальной миграции РИ в каждой из точек измерения оценивался по их распределению в вертикальном почвенном профиле. Во всех ненарушенных ЭЛГС основной запас выпавшего ^{137}Cs (77-99%) через 30 лет после аварии на ЧАЭС находится слое 2-14 см, что свидетельствует о правомерности оценки особенностей его латерального перераспределения методом полевой гамма-спектрометрии. При этом характерно, что данная закономерность оказалась актуальной и для ^{90}Sr , который, будучи более активным водным мигрантом хотя, и способен проникать глубже ^{137}Cs , однако и его основной запас даже через 60 лет после выпадения (Кыштымская авария) не выходит за пределы верхнего 20-25 см слоя. В областях с глубокой распашкой, которая применялась в качестве дезактивационной контрмеры, ^{90}Sr в основном распределен в слое мощностью 30-35 см, однако, и в этом случае основной запас за пределы этого горизонта не выходит. Полученные данные о запасах ^{137}Cs в изученных почвенных кернах позволяют оценить исходную плотность загрязнения тестовых участков как соответствующую значениям 800-1100 кБк/м², для ^{90}Sr эта величина варьировала от 2500 кБк/м² до более 11000 кБк/м².

Пространственная структура поля загрязнения поверхности почвы ^{137}Cs и ^{90}Sr

Данные по изучению структуры поля загрязнения ^{137}Cs в ненарушенных ЭЛГС свидетельствуют о том, что выдвинутая нулевая гипотеза о наличии направленного роста концентрации РИ от вершин к понижениям однозначно опровергается, а само наблюдаемое поле повсеместно представляет собой упорядоченную систему выраженных моноцентрических аномалий, расположенных по большей части в привершинных и средних частях склонов. Аналогичная полицентрическая структура была прослежена и в моховом покрове ЭЛГС. Пространственная стабильность выявленной структуры поля была подтверждена путем последова-

тельного изменения уровнях детализации измерений методом вложенных площадок размером 10x10 м, 5x5 м и 1x1 м, внутри которых неоднородность поля исследовалась с шагом измерения 2, 1 и 0.2 м соответственно. Была проверена и подтверждена также и временная стабильность структуры поля ^{137}Cs путем повторного измерения, проведенного в одних и тех же точках с интервалом 5-12 лет.

При этом изучение характера латерального распределения всегда сопровождалось точной геодезической привязкой всех точек измерения к топооснове масштаба 1:2000 и точным (до 1 см) нивелированием всех профилей, секущим склоны от вершин понижениям. Абсолютно во всех ЭЛГС разной крутизны продолжительности и экспозиции был выявлен достигающий 200% ритмический характер варьирования содержания ^{137}Cs вдоль склона, однако выраженного накопления его в замыкающих понижениях не обнаружено (рис. 1). Характерно, что упорядоченное варьирование содержания ^{137}Cs было прослежено и в пределах многократно распаиваемой ЭЛГС, для которой характер варьирования по двум профилям, параллельно удаленным друг от друга на 15 м, оказался практически идентичным (Korobova et al., 2019).

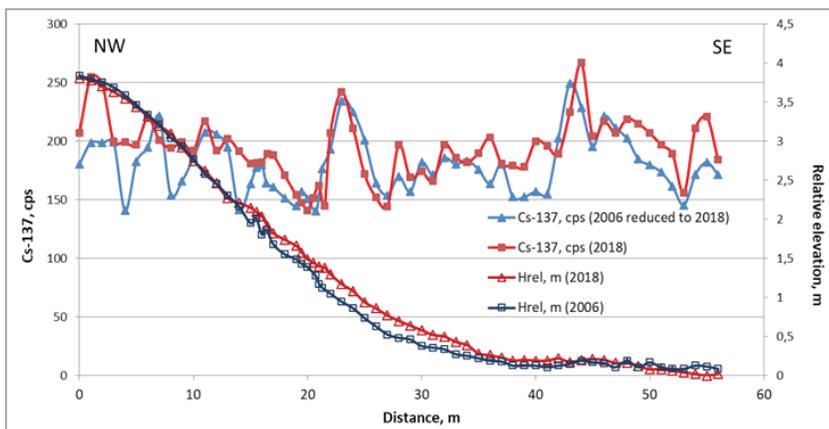


Рис. 1. Варьирование поверхностной активности ^{137}Cs по тальвегу балки по результатам измерений с интервалом времени в 12 лет (шаг измерения - 1 м)

Исследования механизма формирования подобной структуры потребовали проведения значительного числа дополнительных измерений, но позволили однозначно доказать утверждение о том, что фактором, определяющим фиксируемую неоднородность структуры поля, является рельеф, являющийся практически единственным диспетчером циркулирующей в ЭЛГС воды.

Отсюда следует, что зафиксированная неоднородность содержания ^{137}Cs маркирует специфические особенности перераспределения вещества именно водой. Хорошей иллюстрацией этому является картина, полученная на склоне надпойменной террасы, где происходит выраженная смена водного режима от вершины к притеррасному понижению, где значительное преобладание выноса над привносом ^{137}Cs в понижении, очевидно, приводит к четкому снижению его поверхностной активности (рис. 2).

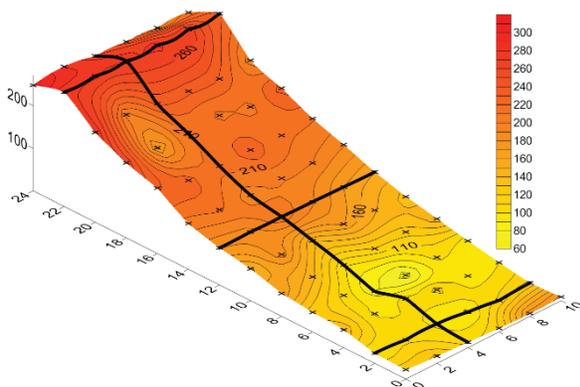


Рис. 2. Распределение ^{137}Cs в пределах перегиба склона первой надпойменной террасы р. Ипуть

Важно отметить, что исследования распределения как ^{90}Sr , так и ^{137}Cs , продолженные на тестовых площадках в зоне ВУРСа в 2019 г., показали, что и в этом случае во всех тестируемых ЭЛГС: 1) как это явно следует из рис. 3, отсутствовали признаки накопления РИ в пониженных элементах рельефа; 2) наблюдается полицентрический характер структуры поля загрязнения (рис. 4, 5). При этом точно такой же ритмический характер варьирования

активности радиоизотопов по склону был получен и на площадке, заложенной на перепаханном после аварии участке агроценоза (рис. 3).

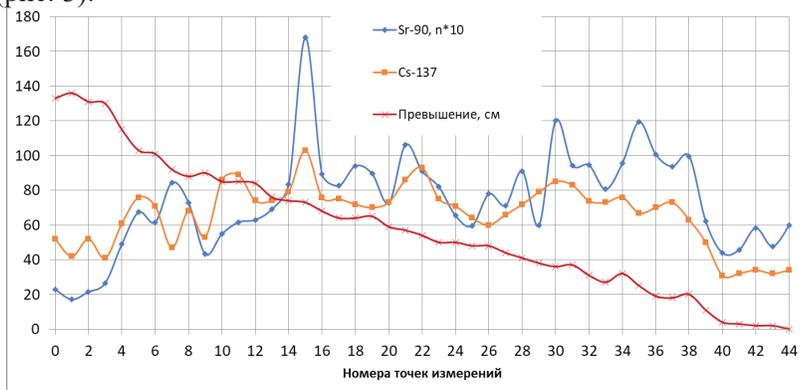


Рис. 3. Изменчивость поверхностной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr (имп/с) в ЭЛГС агроценоза вблизи оз. Бердениш

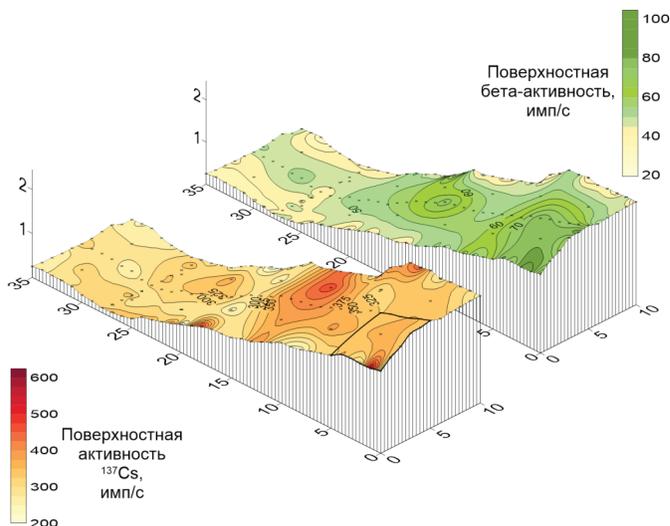


Рис. 4. Структура поверхностной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr на тестовой площадке, заложенной в березняке на серой лесной почве при измерении с шагом 5 м с с указанием положения площадки более детального измерения плотности загрязнения ^{137}Cs (выделено черным контуром).

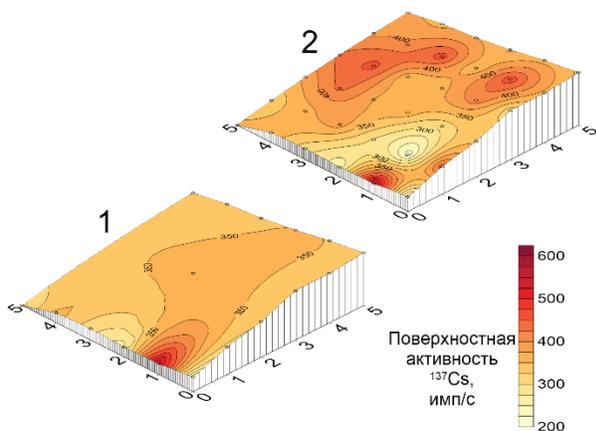


Рис. 5. Структура поверхностной активности ^{137}Cs на площадке детализации размером 5х5 м (1 – до и 2 – после съемки с шагом 1 м)

Применительно к условиям ВУРС чрезвычайно интересным является тот факт, что несмотря на значительную схожесть характера варьирования поверхностной активности двух изучаемых радионуклидов имеют место некоторые несомненные различия структуры поля этих геохимически разных элементов, что может способствовать получению очень важной дополнительной информации о закономерностях миграций вещества в ЭЛГС (рис. 4).

Выводы

На примере тестовых участков, заложенных в зонах радиоактивного загрязнения после техногенных аварий на ЧАЭС и ПО «Маяк» показано, что поля антропогенного загрязнения ЭЛГС изотопами ^{137}Cs и ^{90}Sr имеют закономерно организованную полицентрическую структуру.

На фоне отсутствия выраженной тенденции латерального перераспределения запасов радионуклидов от вершины к понижению наблюдается упорядоченная циклическая картина изменения активности ^{137}Cs и ^{90}Sr , что отражает специфику распределения РИ в рельефе, который является диспетчером распределения воды в ЭЛГС.

Выявленные параметры структуры поля ^{137}Cs и ^{90}Sr маркируют общие закономерности перераспределения вещества в ЭЛГС, что важно при изучении процессов почвообразования и необходимо учитывать при мониторинге состояния окружающей среды, в землепользовании и при проведении эколого-геохимических исследований.

Исследования 2019 г. выполнены при поддержке грантом РФФИ №19-05-00816.

Литература

Романов С.Л., Коробова Е.М., Самсонов В.Л. (2011) //Ядерные измерительно-информационные технологии. №. 3 (39). С. 56-61.

Потапов В.Н. Измерение активности радионуклидов Sr-90 радиометрическим способом с использованием сцинтилляционного детектора бета-излучения. Методика выполнения измерений. НТК «Реабилитация» ФГУ РНЦ «Курчатовский институт». Москва, 2005, 9 с.

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ПО БЛАГОРОДНЫМ ГАЗАМ И АЗОТУ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДАМИ СТУПЕНЧАТОГО ОКИСЛЕНИЯ И ДРОБЛЕНИЯ В ХОНДРИТЕ ОЗЕРКИ

Корочанцева Е.В.¹, Верховский А.Б.², Лоренц К.А.¹,

Буйкин А.И.¹, Корочанцев А.В.¹

¹ГЕОХИ РАН (kpv-life@mail.ru); ²School of Physical Sciences,

The Open University, Milton Keynes, MK7 6AA,

UK (sasha.verchovsky@open.ac.uk)

Введение. Метеорит Озерки выпал в виде дождя 21 июня 2018 года в Липецкой области, Россия. Найдено более 100 экземпляров. Общая собранная масса метеорита составила более 10 кг. По результатам петрографического анализа метеорит классифицирован как обыкновенный хондрит (L6), ударная стадия S5, класс выветривания W0 (Meteoritical Bulletin, 2018). Метеорит Озерки уже привлек к себе внимание и активно изучается несколькими группами ученых (Алексеев и др., 2019; Efimov et al., 2019;