

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.435.11+551.4.012

© 2000 г. В.Н. ГОЛОСОВ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОИЗОТОПОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ****Введение**

Несмотря на обилие методических приемов, используемых в водно-эрозионных исследованиях, до сих пор представляется весьма затруднительным решение целого ряда вопросов по перемещению наносов в системе склон – русло реки или резервуар. Дело в том, что в одном случае возникают проблемы, связанные с вмешательством в процесс, как это, например, происходит при постановке натурных наблюдений [1]. В других случаях невозможно установить темпы процесса за сравнительно небольшой отрезок времени. Это наблюдается при оценке скоростей аккумуляции с использованием радиоуглеродного или спорово-пыльцевого методов [2, 3]. В последние десятилетия все более широко используются методы, основанные на применении радиоизотопов для проведения датировок или выявления скоростей протекания эрозионно-аккумулятивных процессов. Анализ последних достижений в этой области и посвящена данная статья. Одновременно приводятся примеры использования радиоизотопного метода для исследования процессов эрозии и аккумуляции на Русской равнине.

**Общие представления об использовании радиоизотопов
в геоморфологических исследованиях**

Все радиоизотопы, применяемые при исследовании водно-эрозионных процессов, подразделяются на две группы по происхождению (рис. 1). Причем благодаря тому, что период полураспада различных изотопов изменяется в интервале от первых десятков дней до миллиардов лет, возникает возможность оценивать процессы перемещения вещества как в геологическом масштабе времени, так и для современных условий вплоть до конкретного года исследований.

Остановимся на радиоизотопах, используемых для оценок темпов эрозии и аккумуляции в геологическом масштабе времени (таблица). Общей отличительной особенностью данной группы методов является необходимость использования высокочувствительной спектрометрической аппаратуры, что отчасти и ограничивает их широкое распространение. Изотоп ^{14}C формируется в кварцевых частицах почвы при воздействии космических лучей. Измерение концентрации ^{14}C в конкретной точке позволяет оценить долю сокращения изотопа за счет эрозии [4]. Существуют расчетные формулы, дающие возможность оценивать темпы эрозии радиоуглеродным методом в интервале от 10^{-3} до $5 \cdot 10^{-2}$ см/год. Изотоп ^{36}Cl используется для датировки молодых вулканических пород или отложений экзогенного происхождения, имеющих возраст от тысячи до миллиона лет. Принцип использования данного метода основан на особенностях происхождения и физико-химических свойствах изотопа ^{36}Cl , которые позволяют количественно оценивать время его образования в отложениях и тем самым определять темпы денудации данных отложений в

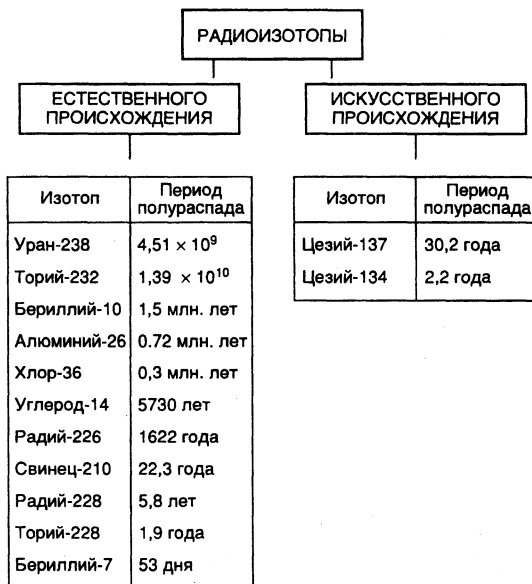


Рис. 1. Радиоизотопы, используемые в геоморфологических исследованиях

каждой конкретно исследованной точке [5]. Использование соотношения изотопов ^{10}Be и ^{26}Al , происхождение которых также связано с воздействием космических лучей на земную поверхность, позволяет решать наиболее широкий спектр задач, включая оценку эрозии и аккумуляции, возраст различных элементов ландшафта, с жесткой временной привязкой. Поскольку они образуются на зернах кварца с заданной скоростью (6 атомов на грамм для бериллия-10 и 37 атомов на грамм для алюминия-26, в пересчете на уровень моря) достаточно несложно подсчитать их убыль или прибавку относительно стабильных ненарушенных условий и тем самым оценить степень трансформации конкретной поверхности [6].

Гораздо большее распространение получили методы, использующие относительно короткоживущие изотопы естественного и искусственного происхождения. Так, соотношения изотопов $^{226}\text{Ra}/^{232}\text{Th}$, $^{137}\text{Cs}/^7\text{Be}$, $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ и $^{226}\text{Ra}/^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ широко используются для определения источников поступления наносов в русло реки или водохранилище [7]. Исследование разбивается на три этапа:

Радиоизотопы, используемые для изучения эрозионно-аккумулятивных процессов в геологическом масштабе времени

Изотоп	Соотношение изотопов и(или) элементов	Возраст определения	Количественная оценка		
			Темпов эрозии	Темпов аккумуляции	Динамики развития формы рельефа
^{14}C	—	Голоценовый	+	—	—
^{36}Cl	$^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$	Четвертичный	+	—	—
^{10}Be	$^{10}\text{Be}/^{26}\text{Al}$	Четвертичный	+	+	+
		Третичный			
^{26}Al	$^{10}\text{Be}/^{26}\text{Al}$	Четвертичный	+	+	+



Рис. 2. Факторы, влияющие на перераспределение изотопа ^{137}Cs

1. Определение концентраций каждого изотопа для всех потенциальных источников поступления наносов в принимающий водоем или речной поток и непосредственно в наносах.
2. Изучение поведения изотопа в почве или отложениях (глубина проникновения, роль механического состава).
3. Расчет по модели.

В отличие от традиционного метода трасеров, когда для оценки трансформации стока наносов по длине реки используется какой-либо естественный источник наносов с характерными свойствами, или в поток привносятся искусственно меченые наносы, в данном случае, благодаря использованию соотношений радиоизотопов, не возникают проблемы, связанные с вероятными изменениями физико-химических свойств используемого в качестве трасера элемента или породы [8]. В то же время повсеместное распространение используемых изотопов не вносит территориальных ограничений.

Общие методические подходы к использованию изотопа ^{137}Cs в эрозионно-аккумулятивных исследованиях

Наиболее широко в эрозионно-аккумулятивных исследованиях используется изотоп ^{137}Cs . Это изотоп искусственного происхождения, образовавшийся в результате проведения ядерных взрывов в открытой атмосфере, начиная с конца сороковых годов текущего столетия. Попадая на поверхность, он быстро и прочно сорбируется тонкими почвенными частицами и в дальнейшем перемещается только вместе с ними. Доля растворимого ^{137}Cs не превышает 5% за исключением территорий с аномально кислыми почвами. Относительно невелико его потребление растениями. В то же время глобальные выпадения ^{137}Cs в период проведения взрывов в открытой атмосфере способствовало его равномерному распределению на суше. Общая схема взаимодействия факторов, определяющих перераспределение ^{137}Cs , представлена на рис. 2 [9].

Важнейшие достоинства радиоцезиевого метода в приложении к исследованию флювиальных процессов заключаются в следующем. Во-первых, данный метод позволяет

оценивать скорости эрозии и аккумуляции в различных звеньях эрозионной сети за период с 1954 г. до момента определения содержания, а в ряде случаев и за более дробные интервалы внутри этого промежутка времени. Во-вторых, использование данного метода позволяет собрать всю необходимую информацию за один выезд в поле, причем процессы полевого опробования и лабораторного измерения сравнительно просты. В-третьих, нет существенных нарушений почвенного покрова на исследуемой территории. Наконец, по результатам анализов возникает возможность картографирования зон эрозии и аккумуляции. Необходимо отметить и ряд недостатков, ограничивающих или усложняющих использование ^{137}Cs для оценки темпов эрозионно-аккумулятивных процессов. Так, в почвах с кислой средой возможно повышенное растворение цезия, существует зависимость его концентрации от механического состава, необходима информация о его выпадении на ненарушенные поверхности, а также специальное оборудование для его измерения. Кроме того, необходимость отбора образцов для лабораторного анализа ограничивает размеры исследуемого объекта, так как объективная картина перераспределения наносов может быть получена только при отборе статистически достоверного количества проб в пределах каждой морфологически однородной поверхности. Как правило, данные условия могут быть соблюдены для сравнительно небольшого водосбора или отдельного склона, участка днища долины или речной дельты. Суммируя имеющиеся представления об использовании изотопа ^{137}Cs при исследованиях эрозии и аккумуляции, можно составить следующий перечень вариантов применения данного метода:

А. Изучение эрозии.

1. Количественная оценка интенсивности смыва почв: за период с 1954 г. до момента опробования или за период с 1986 г. (для территорий со значениями загрязнения почв ^{137}Cs на порядок или более глобальных загрязнений). Построение карт суммарной денудации рельефа.
2. Реконструкция почвенного профиля.
3. Определение соотношений плоскостной и овражной эрозии.
4. Независимая проверка эрозионных моделей.
5. Выявление долевого участия различных эрозионных и других денудационных процессов в формировании стока наносов рек.

Б. Изучение аккумуляции (по нескольким временным интервалам в зависимости от детальности пробоотбора и сохранности разновременных отложений).

1. Оценка темпов аккумуляции на обрабатываемых склонах, на нераспахиваемых склонах, расположенных ниже пашни и на конусах выноса у подножий склонов.
2. Определение скоростей накопления отложений в балочной сети и руслах рек.
3. Выявление интенсивности роста пойм разного уровня.
4. Оценка объемов накоплений в озерах и водохранилищах.
5. Исследование современных переформирований в речных дельтах.
6. Построение карт скоростей аккумуляции для различных элементов флювиального рельефа в зависимости от задач исследования.

Чернобыльская авария, в результате которой произошло радиоактивное загрязнение обширных площадей в пределах Западной и Центральной Европы и особенно Белоруссии, Украины и западных областей России, несколько трансформировало возможности использования данного метода в пределах названных территорий. В районах, где доля Чернобыльских загрязнений сопоставима или отличается менее чем на порядок от предшествующего глобального загрязнения, только в первое десятилетие после аварии до распада выпавшего совместно с ^{137}Cs изотопа ^{134}Cs существовала возможность определять ^{137}Cs по происхождению (глобальные выпадения или чернобыльские загрязнения) и использовать его для оценки темпов эрозионных процессов. В дальнейшем возникают большие проблемы при использовании радиоцезиевого метода для количественной оценки эрозии на данных территориях, которые обусловлены необходимостью установления долевого участия цезия глобального и чернобыльского происхождения. Эта проблема особенно затрагивает страны Западной и Центральной Европы, где не было проведено детальное картографирование чернобыльских выпадений [10]. В странах СНГ такая работа была проведена. В результате

были выявлены ареалы с повышенным уровнем загрязнения, на порядок и более превышающим по величине глобальные загрязнения [11]. Такие районы, подчас удаленные на сотни километров от места аварии, получили название пятен и были повторно более подробно обследованы. Для остальной территории, благодаря проведению аэроспектrometerической съемки с наземными маршрутными опробованиями, удалось детально установить сложившееся на момент съемки загрязнение местности изотопом ^{137}Cs . Тем самым была получена новая точка отсчета для оценки снижения содержания ^{137}Cs в пахотных почвах за счет воздействия водной или ветровой эрозии и других экзогенных процессов. Благодаря использованию радиоцезиевого метода, возникает возможность определять суммарные темпы денудации и аккумуляции в пределах различных звеньев флювиальной сети.

В районах с уровнями чернобыльского загрязнения, на порядок и более превышающими уровни глобального загрязнения, практически можно не учитывать загрязнение, предшествующее чернобыльскому, так как его доля в суммарном загрязнении не превышает 5%. Тем самым для данных территорий уже с момента аварии (апрель 1986 г.) не представляется возможным оценить интенсивность эрозии за период с 1954 г. путем анализа содержания ^{137}Cs в образцах, отобранных непосредственно на эродируемых участках. В то же время в зонах аккумуляции появился новый отчетливый временной рубеж, позволяющий определять наряду с суммарной аккумуляцией за период глобального радиоактивного загрязнения и аккумуляцию за период с 1986 г. Другой отличительной особенностью "пятен" с повышенными уровнями загрязнения является возможность полевого определения содержания ^{137}Cs с помощью переносного гамма-спектрометрического оборудования. В мире существует несколько производителей подобного оборудования, среди которых есть и российские [12]. Помимо экономии времени и средств на отбор, транспортировку и анализ образцов, полевое определение содержания изотопа ^{137}Cs более достоверно отражает истинное загрязнение почвы в пределах достаточно крупных морфологически однородных элементов рельефа. Дело в том, что в поле измеряется излучение с площади в 1 м^2 , тогда как при массовом отборе объемный образец отбирается с площади $0,1\text{--}0,2\text{ м}^2$. В результате даже при дублировании проб с последующим смешиванием велика вероятность случайной ошибки, связанной с различными причинами (деятельность землероев, недостаточное механическое перемешивание в пределах пашины и т.п.). Тем не менее, поскольку пересчет суммарных запасов ^{137}Cs в полевом гамма-спектрометре проводится, исходя из запрограммированного распределения ^{137}Cs по глубине, данный прибор неприменим при захоронении слоя с начальным чернобыльским загрязнением на глубину более 35 см.

Практическое использование радиоцезиевого метода в районах с высокими уровнями чернобыльского загрязнения сталкивается с рядом методических проблем. Существует представление о высокой вариабельности чернобыльского загрязнения не только в макромасштабе, что подтверждается результатами картографирования загрязнения на европейской части России, но и в микромасштабе, т.е. на расстояниях в первые метры [13]. Данное мнение возникло в связи с проведением массовых измерений радиоактивного загрязнения территорий, непосредственно примыкающих к месту аварии, которые показали хаотический характер поля загрязнения на расстояниях первых метров с перепадами в уровнях в два-три порядка. Причиной подобного распределения стало выпадение радиоактивного пепла, образовавшегося в процессе пожара на энергоблоке АЭС. По мере удаления от эпицентра аварии количество частиц пепла быстро убывало, хотя даже на расстоянии в сотни километров от Чернобыля нельзя исключить возможность привноса радиоактивного пепла. Именно поэтому любое исследование с использованием радиоизотопных методов должно начинаться с изучения вариабельности содержания ^{137}Cs на ненарушенных участках, так называемых эталонах, где можно с уверенностью говорить об отсутствии не только эрозии, но и аккумуляции. Согласно международным стандартам, это плоские необрабатываемые водораздельные поверхности без древесной или кустарниковой растительности. Учитывая, что эталонные участки должны находиться внутри исследуемого водосбора или по крайней мере граничить с ним, подобное требование представляется для условий южного мегасклона Русской равнины трудновыполнимым, поскольку практически все плоские водоразделы распаханы. Поэтому альтернативой могут служить необрабатываемые балочные склоны без следов аккумуляции, балочные или речные террасы и даже разреженные участки лесополос. В частности, в зоне лесостепи на момент распространения основного (более 95%) загрязнения (период от 26 апреля до 9 мая 1986 г.) на деревьях и кустарниках еще не полностью распустилась листва, что позволяет использовать разреженные участки лесополос для отбора эталонных образцов. Кроме того, даже

распахиваемые плоские водоразделы с полным отсутствием эрозии могут использоваться в качестве эталонов, так как механическое перемешивание загрязненного приповерхностного слоя лишь снижает начальную вариабельность выпадений цезия [14].

Особенности использования радиоцезиевого метода при изучении эрозионно-аккумулятивных процессов

При исследовании эрозии почв на обрабатываемых или пастбищных склонах обычно отбор проб или проведение прямых измерений содержания ^{137}Cs проводится по равномерной сетке или системе трансект, пересекающих склон параллельно линиям стока. В этом случае возникает возможность не только статистически достоверно установить суммарное сокращение содержания цезия в почве, но и выявить пространственное распределение зон смыва и аккумуляции. Сопоставление результатов оценок темпов смыва, полученных радиоцезиевым методом с установленными другими методами, показывает, что радиоцезиевый метод завышает величины смыва [15, 16]. Это связано с рядом причин. Во-первых, перемещение почв внутри пашни происходит в том числе за счет механической обработки, причем экспериментально установлено, что объем почвы, смещаемой плугом вниз по склону, превышает объем почвы, перемещаемой вверх [17]. Разница увеличивается по мере роста крутизны обрабатываемых склонов. Во-вторых, за счет распашки снижается доля ^{137}Cs в пределах узких линейных водоразделов и возрастает (или компенсируется) в линейных понижениях (ложбинах и потяжинах) [18]. В-третьих, в пределах пастбищных склонов, а также и на пашне наблюдается вертикальное перемещение почвы, благодаря деятельности землероев (мышей, кротов, червяков и т.п.), что также приводит к снижению концентрации цезия. Наконец, часть почвы уносится с урожаем (корнеплоды) или на колесах сельскохозяйственной техники. Подсчитано, например, что потери почвы при уборке картофеля достигают на суглинистых почвах 10 тонн с гектара [19]. Таким образом, использование радиоцезиевого метода позволяет оценить суммарную денудацию поверхности и выявить участки аккумуляции в пределах обрабатываемых склонов.

При использовании радиоцезиевого метода при исследовании интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на необрабатываемых участках существуют по крайней мере два подхода к оценке скоростей аккумуляции. Один из них основывается на допущении достаточно равномерного выпадения ^{137}Cs , и в этом случае превышение концентрации ^{137}Cs свидетельствует об аккумуляции, а ее интенсивность пропорциональна увеличению концентрации. В результате достаточно определить суммарные запасы ^{137}Cs в точке, взяв одну пробу. Более трудоемок другой подход, который позволяет оценивать интенсивность аккумуляции на основе изучения эпюры распределения ^{137}Cs по глубине. В этом случае проводится послойный отбор проб для проведения радионуклидного анализа. В результате темпы аккумуляции в ряде случаев могут быть установлены для нескольких временных рубежей, соответствующих годам с максимальными выпадениями ^{137}Cs при проведении взрывов в открытой атмосфере. Кроме того, нет необходимости принимать допущение о равномерном начальном выпадении ^{137}Cs .

Исследования, проводившиеся в балках различных природно-климатических зон Русской равнины, позволили установить современные темпы аккумуляции наносов в днищах балок [20]. Выяснилось, что наблюдается отчетливая тенденция увеличения скоростей аккумуляции наносов с юга лесной зоны к степной зоне. Установлено, что в зависимости от размеров балки можно выделить несколько участков с различными скоростями аккумуляции. Так, для крупных балок, образовавшихся в результате заиления ручьев или малых рек, характерны максимальные скорости аккумуляции в центральной части, где по мере падения уклонов днища происходит разгрузка потока. В то же время в средних и малых балках, образовавшихся в результате заполнения склоновых или береговых оврагов, максимум аккумуляции наблюдается в верховьях на границе с обрабатываемым склоном и в устье, что связано с резким падением уклона. Детальные исследования аккумуляции наносов на задернованных балочных склонах, проведенные в пределах малого балочного водосбора в Плавском районе Тульской области, позволили определить характер переотложения наносов за период, прошедший после аварии на Чернобыльской АЭС. Установлено, что определяющее влияние на темпы аккумуляции наносов оказывают конфигурация склонов и расходы склонового стока. В случае относительно малых расходов воды максимум переотложений наносов отмечен в верхней части склона. Обратная картина характерна для ситуаций с большими расходами склонового стока. Характерной особенностью аккумуля-

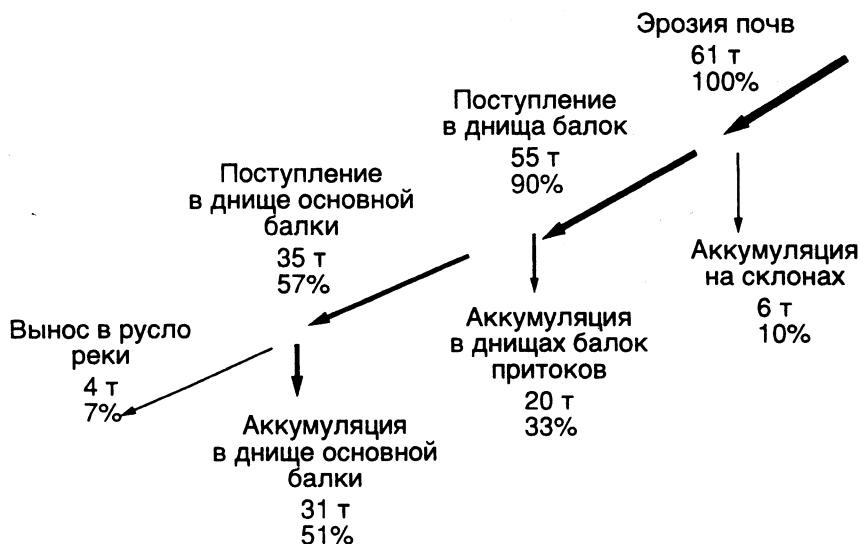


Рис. 3. Баланс наносов балки Часовенков верх, составленный по результатам использования радиоцезиевого метода

муляции наносов на склонах является их мозаичность, связанная с рассредоточиванием стока на выходе с обрабатываемого склона. Резкое увеличение шероховатости поверхности наряду с падением глубины потока приводит к пульсационной разгрузке потока.

Важный аспект использования ^{137}Cs – проведение балансовых исследований в пределах малых водосборов. Известно, что оценка баланса наносов – один из наиболее слабоисследованных разделов флювиальной геоморфологии. В районах с относительно равномерным начальным выпадением цезия возникает возможность оценить его фактическое распределение, сложившееся в результате перераспределения наносов экзогенными процессами. При этом даже вероятный дисбаланс между приходной и расходной частью не страшен, так как отражает долю наносов, вынесенных за пределы исследуемого водосбора. Подобные исследования особенно актуальны для территорий, где основной источник поступления наносов в речную сеть не очевиден [21]. Для территорий с доминирующим поставщиком наносов, каким в настоящее время является эрозия почв в степной и лесостепной зонах европейской части России, более важна оценка доли наносов, смываемых со склонов, которые достигают речных русел. Исследования баланса наносов, выполненные для водосбора балки Часовенков верх (Плавский район, Тульская обл.), позволили установить, что в русло реки поступает не более 7% от суммарного объема наносов, формирующихся на водосборе (рис. 3).

Радиоизотопные методы исследования эрозионно-аккумулятивных процессов занимают все более важное место в изучении динамики рельефа. Важнейшее достоинство радиоизотопных методов – возможность их повсеместного применения, что делает сравнимыми результаты, полученные с их использованием в различных природно-климатических зонах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gretnener B., Stromquist L. Overbank sedimentation rates of fine grained sediments. A study of the recent deposition in the Lower River Fyrisan // *Geografiska Annaler*. 1987. № 69A. P. 139–146.
2. Lewin J., Macklin M.G. Metal mining and floodplain sedimentation in Britain // *Int. Geomorphology*. Wiley. 1987. P. 1009–1027.
3. Гласко М.П., Фоломеев Б.А. Методика определения скоростей накопления пойменного аллювия равнинных рек по археолого-геоморфологическим данным (на примере Средней Оки) // *Геоморфология*. 1981. № 3. С. 26–36.
4. Lal D., Barg E., Pavich M. Development of cosmogenic nuclear methods for study of soil erosion and formation rates // *Current Sci*. 1991. V. 61. № 9&10. № 10. P. 636–639.

5. *Phillips F., Leavy B.D., Jannik N.O. et al.* The Accumulation of Cosmogenic Chlorine-36 in Rocks: a Method for Surface Exposure Dating // *Sci.* 1986. V. 231. P. 489–492.
6. *Brown L., Stensland G.J., Klein J., Middleton R.* Atmospheric deposition of ^7Be and ^{10}Be // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1989. V. 53. P. 135–142.
7. *He Q., Owens Ph.* Determination of Suspended Sediment Provenance Using Caesium-137, Unsupported Lead-210 and Radium-226: A Numerical Mixing Model Approach // *Sediment and Water Quality in River Catchments*. 1995. Wiley. P. 207–227.
8. *Walling D.E., Woodward E.F.* Use of radiometric fingerprints to derive information on suspended sediment sources // *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins*. Proc. Oslo Sympos., August, 1992. IAHS Publ. № 210. 1992. P. 153–164.
9. *Loughran R.J.* The use of the environmental isotope caesium-137 for soil erosion and sedimentation studies // *Trend in Hydrol.* 1994. № 1. P. 149–167.
10. *Higgit D.L., Froehlich W., Walling D.E.* Applications and limitations of Chernobyl radiocaesium measurements in a Carpathian erosion investigation, Poland // *Land degradation and rehabilitation*. 1992. V. 3. P. 15–26.
11. *Израель Ю.А., Назаров И.М., Фридман Ш.Д., Квасникова Е.В.* Радиоактивное загрязнение европейской части СНГ в 1992 г. после аварии на Чернобыльской АЭС // *Методика и некоторые результаты аэро-гамма-спектральной съемки Европейской части России*. СПб.: Гидрометеиздат, 1994. С. 16–51.
12. *Говорун А.П., Ликсонов В.И., Ромасько В.П. и др.* Спектрочувствительный портативный гамма-радиометр "Корад" // *ПТЭ*. 1994. № 5. С. 207–208.
13. *De Roo A.P.J.* The use of ^{137}Cs in an erosion study in south Limburg (The Netherlands) and the influence of Chernobyl fallout // *Hydrol. Processes*. 1992. № 5. P. 215–227.
14. *Golosov V.N., Walling D.E., Panin A.V. et al.* The spatial variability of Chernobyl-derived Cs-137 inventories in a small agricultural drainage basin in Central Russia // *Applied Radiation and Isotopes* (in press.).
15. *Якимова И.В.* Количественная оценка рельефа при картографировании эрозионноопасных земель: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1988. 24 с.
16. *Quine T.A., Walling D.E.* Rates of soil erosion on arable fields in Britain: quantitative data from caesium-137 measurements // *Soil use and management*. 1991. V. 7. № 4. P. 169–176.
17. *Govers G., Quine T.A., Walling D.E.* The effect of water erosion and tillage movement on hillslope profile development: a comparison of field observations and model results // *Farmland Erosion in Temperate Plains Environment and Hills*. Elsevier. 1993. P. 285–300.
18. *Walling D.E., Quine T.A.* The use of caesium-137 measurements in soil erosion surveys // *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins*. Proc. Oslo Sympos., August 1992. IAHS Publ. № 210. 1992. P. 143–152.
19. *Ларионов Г.А.* Эрозия и дефляция почв. М.: Изд-во МГУ, 1993. 198 с.
20. *Голосов В.Н.* Аккумуляция в балках Русской равнины // *Эрозия и русловые процессы*. 1998. Вып. 11. С. 42–46.
21. *Owens Ph.N., Walling D.E., He Q., Shanahan J.* The use of caesium-137 measurements to establish a sediment budget for the Start catchment, Devon, UK // *Hydrolog. Sci.* 1997. № 43(3). P. 403–423.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
16.10.98

RADIOMETRIC DATING IN THE STUDIES OF EROSION AND ACCUMULATION

V.N. GOLOSOV

S u m m a r y

The article presents a review of natural and artificial radionuclides' usage in the research of erosion and accumulation processes. Special attention is paid to ^{137}Cs usage. Some details of radiocaesium method are under close discussion; examples of its application in the study of erosion-accumulation processes on the Russian Plain are given.