

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.4.012

В. Н. ГОЛОСОВ, И. В. ОСТРОВА, А. Н. СИЛАНТЬЕВ,
И. Г. ШКУРАТОВА

РАДИОИЗОТОПНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕМПОВ ВНУТРИБАССЕЙНОВОЙ АККУМУЛЯЦИИ

Эрозионно-аккумулятивные процессы в условиях интенсивного сельскохозяйственного освоения территорий вышли на первый план — как ведущие процессы, наиболее активно преобразующие рельеф. С середины 50-х годов резко увеличился парк сельскохозяйственной техники и постоянно нарастает химизация сельского хозяйства. Кроме того, в последние десятилетия пахотные земли обрабатывает новое поколение обрабатывающих и уборочных машин, отличающихся большим весом. В результате на значительных площадях отмечено переуплотнение почвы, что способствовало резкому увеличению темпов смыва почвы и растворенных веществ. Переотложение эродируемого материала в овражно-балочной и гидрографической сетях приводит к ускоренному изменению не только облика ландшафта, но и связей внутри него: заполнение балок наносами вызывает подъем уровня грунтовых вод и заболачивание территории; поступление избыточного потока веществ со склонов усиливает заиление и отмирание малых рек, рост содержания химических веществ в поверхностных водах. Таким образом, явление активизации эрозионно-аккумулятивных процессов выходит за рамки чисто геоморфологического процесса. Это по существу одно из звеньев экологической катастрофы, охватившей к настоящему времени практически все природные среды.

Перед исследователями встает задача оперативно выявить темпы процесса смыва и аккумуляции в различных природно-климатических зонах за последние 30—35 лет с целью организации системы почвоводоохранных мероприятий. Следует признать, что методическая база геоморфологической науки в этом отношении недостаточно разработана. Оптимальную информацию можно получить, организовав в рамках речного бассейна сеть стационаров по наблюдению за стоком воды и наносов, начиная со склонов и кончая русловой сетью, хотя бы на базе имеющихся гидрологических станций Госкомгидромета. Но, во-первых, для достоверных выводов необходимо получить некоторый временной ряд наблюдений, а во-вторых, как уже признано, для оценки трансформации стока наносов часто неправомерно переносить данные точечных наблюдений на соседние водосборы.

Более перспективным выглядит метод оценки темпов смыва и аккумуляции по коррелятным отложениям. Для последних 30—35 лет такую информацию можно получить, используя способ датировки аккумулятивных отложений различного генезиса по накоплению изотопа цезия-137.

Изотоп цезия-137 является одним из компонентов глобальных радиоактивных выпадений, проходивших вследствие испытаний ядерного оружия в атмосфере. Самостоятельно данный изотоп в природе не образуется. Поступая из атмосферы вместе с осадками, цезий-137 прочно сорбируется почвой по типу обменно-ионного поглощения. В соответствии с частотой и мощностью проведения взрывов по-

поступление цезия-137 в почву было неравномерным во времени. Начало выпадений изотопа относится к 1954 г., в почве цезий-137 фиксируется с 1955 г. Зарегистрировано два пика: максимум поступлений цезия-137 приходится на 1962—1963 гг., а меньший по величине пик датируется 1957—1958 гг. К 1964 г. выпало 80% от общего поступления изотопа, в дальнейшем интенсивность выпадений быстро убывала и с 1971 г. стабилизировалась на одном уровне. Новый временной рубеж (1986 г.) возник в связи с аварией на Чернобыльской АЭС. Особенно четко он маркирует отложения юго-западной четверти Русской равнины.

Датировка аккумулятивных накоплений с помощью изотопа цезия-137 широко использовалась для оценки аккумуляции наносов в прудах, озерах и водохранилищах [1, 2 и др.], в прибрежной зоне морей и на поймах [3]. Применительно к обрабатываемым землям данный метод практиковался реже, в основном для исследования накопления наносов в пределах пашни на вогнутых частях склонов [4, 5]. При датировке отложений по изменению концентрации изотопа по вертикали маркировалось несколько временных рубежей: 1954, 1959 и 1963 гг. [3], 1954 и 1963 гг. [6].

Цель наших исследований — проверка возможности использования изотопа цезия-137 для определения объемов аккумуляции смываемого с пахотных земель материала на различных элементах рельефа по пути транспортировки наносов со склонов в речную долину и оценки темпов смыва с прилегающих к зонам аккумуляции пахотных склонов. Обследованные объекты располагаются в лесной (бассейн р. Протвы), лесостепной (бассейн р. Ведуги, бассейн р. Аткары) и степной (бассейн р. Калаус) зонах в пределах соответственно Московско-Смоленской, Среднерусской, Приволжской и Ставропольской возвышенностей. В качестве зон аккумуляции самостоятельно рассматривались: вогнутые участки склонов, днища распахиваемых ложбин на склонах, участки края пашни — нераспахиваемый склон, днища балок.

Методика датировки отложений по накоплению изотопа цезия-137 включает два этапа: полевой и камеральный. Пробы в поле отбираются почвенным ножом в стандартные почвенные мешочки послойно снизу вверх по разрезу. При отборе пробы из щебнистых почв следует отбирать только песчано-глинистый заполнитель. При опробывании в поле необходимо обращать внимание на три момента: выбор интервала отбора проб по вертикали, плотности точек отбора по площади и количество проб, отбираемых в разрезе. Два последних вопроса решаются в зависимости от детальности исследования.

Более важен момент выбора интервала отбора проб по вертикали. Согласно экспериментальным данным [7—9], перемещение поглощенного изотопа цезия-137 возможно лишь сильными кислотами. В природных условиях происходит некоторая вертикальная миграция, обусловленная фильтрацией атмосферных осадков в глубь почвы, диффузией свободных и адсорбированных ионов, передвижением по корням растений и переносом в результате роющей деятельности почвенной фауны [10, 11]. Однако детальные исследования, включающие натурные измерения и математическое моделирование [12], показали, что вертикальная миграция происходит в зависимости от типа почв со скоростью, не превышающей сантиметры в год, что в случае необходимости может быть учтено.

На необрабатываемых землях основной запас поступившего глобального изотопа цезия-137 сосредоточен в верхнем 5—10-сантиметровом слое, мощность которого определяется поглотительной способностью почвы. Наиболее полно изотоп удерживается илистой фракцией, причем особенно прочно его закрепляют минералы монтмориллонитовой группы, а также некоторые слюды и гидрослюды. Установлено [10], что способность к поглощению уменьшается в ряду: черноземы — каштановые почвы — дерново-подзолистая почва. Поэтому происходит «размыв» по вертикали уровней, маркирующих пики выпадений (1954, 1959, 1963 гг.), а при определении этих временных рубежей возникает погрешность до ± 5 —10 см.

При выборе интервала отбора проб следует учитывать также особенности

аккумуляции наносов. Как правило, аккумулятивное тело (шлейф, конус и т. д.) имеет микрорельеф с относительными превышениями до 10 см, формирование которого связано с пересечением зон аккумуляции фуркирующими потоками воды. Следовательно, можно считать целесообразным отбор проб с интервалом не менее 10 см. При значительной мощности отложений (свыше 1,5 м) интервал может быть увеличен, если задача состоит лишь в определении общей мощности накоплений с 1955 г., но при отборе пробы следует учитывать однородность по цвету, структуре и мехсоставу пачки отложений. После отбора пробы высушивались. В камеральный период с помощью гамма-спектрометра определялось содержание изотопа цезия-137 на единицу массы сухой почвы.

По результатам анализа опробования участков аккумуляции в различных почвенно-климатических условиях и на разнообразных элементах рельефа четко устанавливается мощность слоя аккумуляции с 1955 г. до момента опробования. Тем самым определяется интенсивность аккумуляции, а следовательно, и эрозии на водосборе в период повсеместной машинной обработки (середина 50-х годов) и с момента начала распашки, поскольку общая мощность аккумулятивных отложений достаточно четко выделяется по характерной для них структуре. Равно возникает возможность сопоставления темпов аккумуляции по пути транспортировки наносов со склонов в речные долины в указанные периоды. Появление нового маркирующего горизонта в связи с аварией на Чернобыльской АЭС еще более повышает целесообразность использования предлагаемого метода. При интерпретации результатов следует учитывать некоторые особенности аккумуляции наносов на различных элементах рельефа.

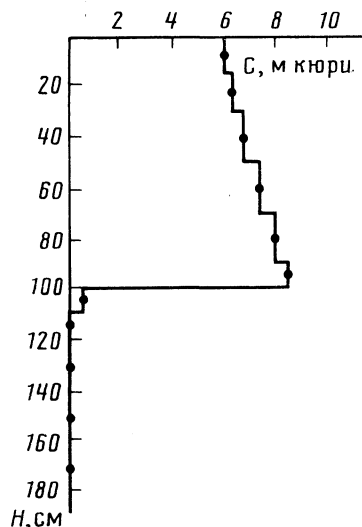
Отличительной особенностью аккумуляции наносов на обрабатываемых склонах является перемешивание практически ранее отложившегося материала с вновь поступившим в результате ежегодной распашки.

Цезий-137 сорбируется почвенными частицами, мало мигрирует по вертикальному профилю и в результате неоднократной обработки почв равномерно распределяется по всему пахотному горизонту. Горизонтальная миграция цезия-137 возможна только совместно с почвенными частицами. В условиях равнинного рельефа при отсутствии дефляции геоморфологически стабильными участками, на которых отсутствует горизонтальная миграция почвенного материала, являются приводораздельные пространства в пределах пашни. Содержание изотопа в почве этих участков является эталонным для рассматриваемой территории площадью порядка сотни гектаров. Распространение эталонного содержания цезия-137 на большие площади может привести к ошибкам из-за неравномерности выпадения жидких осадков по территории, особенно в годы максимального поступления цезия-137 из атмосферы.

Проведенные массовые определения концентрации цезия-137 показывают, что ее уменьшение по сравнению с эталоном служит надежным индикатором эрозии. Уменьшение концентрации возникает в результате смыва слоя пахотного горизонта, содержащего изотоп и последующей подпашки такого же по мощности слоя почвы, в котором изотоп отсутствует.

Обычно для определения степени эродированности склоновых почв достаточно отобрать образец с глубины 0—20 см. В тех случаях, когда на перегибе обрабатываемого склона или в днище ложбины существует вероятность аккумуляции наносов, следует отбирать как минимум два образца по вертикальному профилю: с глубины 0—20 и 20—40 см. При этом увеличение содержания цезия-137 в нижнем образце по сравнению с аналогичным горизонтом эталонного профиля достоверно свидетельствует о наличии аккумуляции. Что касается содержания изотопа в верхнем горизонте аккумулятивной толщи, то оно может быть и меньше эталонного, если материал поступает с сильно эродированных участков.

Особенно велика ценность информации по оценке аккумуляции в ложбине, поскольку в связи с особенностями почвообразования выделение горизонтов намывных почв в днищах ложбин вызывает большие затруднения в отличие от выявления намывного слоя на склоновых почвах. Зоны аккумуляции наносов по



Изменение концентрации цезия-137 (C) по глубине аккумулятивной толщи (H) балки Дальняя (Воронежская обл.)
Точками показаны середины слоев, для которых определялось содержание цезия-137

краю пашни и особенно в замыкающих (на выходе с поля) створах малых склоновых водосборов следует опробовать особенно подробно.

Наилучшие результаты получаются при изучении аккумулятивных толщ перед водозадерживающими валами, расположенными в нижней части полей, преимущественно на водосборах собирающего типа. Функционирующие до настоящего времени валы (степная, лесостепная зоны) построены в период начиная с 1968 г., т. е. тогда, когда привнос цезия-137 из атмосферы был незначительным, поэтому послойное уменьшение содержания изотопа в аккумулятивной толще наносов свидетельствует об увеличении степени смытости на водосборе. На рисунке представлено изменение содержания изотопа в теле вала с водосборной площадью 20 га. Данный вал построен в Семилукском районе Воронежской области в 1970 г., а образцы на содержание цезия-137 отобраны в 1986 г. В верхнем горизонте толщ содержится 75% изотопа в сравнении с нижним. Следовательно, за 16 лет за счет смыва почвы концентрация цезия-137 в почве уменьшилась на 25%. Если предположить, что ежегодно смывается слой почвы Δh_n (см), а начальную концентрацию (X) изотопа в 1970 г. принять за 1, то через 1 год концентрация составит $X_1 = 1 - \Delta h_1/H$; а через 2 года $X_2 = (1 - \Delta h_2/H)^2$, где H — мощность пахотного горизонта на водосборе. В общем виде уравнение имеет вид $X_n = (1 - \Delta h_n/H)^n$, где X_n — концентрация в исследуемом образце; n — время функционирования вала, в годах. В нашем случае данное уравнение запишется как $0,75 = (1 - \Delta h_{16}/25)^{16}$, или $0,75^{1/16} = 1 - \Delta h_{16}/25$.

Тогда $\Delta h_{16} = (1 - 0,75^{1/16}) \cdot 25 = 0,44$ (см).

Таким образом, можно количественно оценить интенсивность смыва на водосборе.

В балках аккумулируются наносы, поступающие преимущественно с нескольких полей, засеянных различными культурами. Поэтому восстановить динамику смыва по изменению концентрации изотопа цезия-137 в этом случае невозможно, так как происходит «перемешивание» наносов, поступающих с различных угодий с неодинаковыми величинами смыва. В то же время на основе анализа изменений толщины отложений по длине балки за весь период аккумуляции и с 1955 г. вполне реально выявить последовательность ее заполнения. Еще более привлекательна возможность оценить средние темпы смыва на склонах за период с 1955 г. до момента опробования, если балка в этот период была запружена, и смываемый с водосбора материал полностью отлагался в ее днище. Такая ситуация весьма характерна для степной зоны.

Подобно аккумуляции наносов в балках по содержанию изотопа цезия-137 можно выяснить темпы аккумуляции наносов в пойме реки. В связи с малой толщиной ежегодных отложений наносов в пойме, усложняется отбор проб для

Бассейн реки	Административное положение	Физико-географическая зона	Почва	Период распахашки, лет	Средние темпы аккумуляции, мм/год		A ₀ /A _c
					за весь период освоения, A ₀	за период 1962—1988 гг., A _c	
Калаус	Ставропольский край	Степь	Чернозем	100—150	10	23,1	0,43
Ведуги	Воронежская область	Лесостепь — степь	Чернозем обыкновенный	250—300	5,5	16,7	0,33
Колышлей	Саратовская область	Лесостепь	Чернозем	150—200	4,6	11,5	0,4
Протвы	Калужская область	Лесная	Дерново-подзолистая	300—350	3,0	0,6	5,0

анализа и сам процесс определения содержания. Для отбора образцов используются специальные цилиндры диаметром 0,4 м и высотой 20 см, которые аккуратно вертикально вбиваются в пойменные отложения. Цилиндр окапывается и подрезается снизу, сверху и снизу цилиндр закрывается плотно прилегающими крышками. Отбор образцов должен проводиться на открытых незалесенных участках поймы. При определении содержания изотопа цезия-137 проводится послойный анализ. В связи с гораздо большей трудоемкостью и необходимостью повышенной точности, число анализируемых образцов, как правило, ограничено.

Для выявления зональных отличий накопления наносов в балочных системах наиболее достоверны усредненные результаты по бассейнам рек. Тем самым скрадываются специфические особенности аккумуляции в конкретной точке. В таблице приведены усредненные данные по результатам бурения серии балочных систем в исследованных регионах. Мощность отложений за весь период освоения определялась по наличию горизонта погребенных почв и уточнялась по результатам палинологического анализа. Период освоения территорий установлен на основании архивных материалов.

Сопоставление средних значений аккумуляции в балках по исследованным регионам позволяет сделать вывод об усилении темпов переотложения наносов в последнее тридцатилетие, что свидетельствует о повсеместном росте интенсивности смыва с пахотных земель в степной и лесостепной зонах. Обращает на себя внимание относительно равномерный прирост темпов аккумуляции по всем бассейнам этих физико-географических зон. Если учесть, что в последние 30—40 лет площади пашни в исследуемых бассейнах, равно как и климатические условия, практически не менялись, то равномерный прирост темпов аккумуляции, а следовательно и смыва, можно объяснить ухудшением водно-физических свойств почв. Причина этого явления — значительное повышение массы обрабатываемой техники, переуплотняющей почву и разрушающей ее структуру, а также увеличение степени эродированности почв. Несколько больший рост интенсивности эрозивно-аккумулятивных процессов в бассейне р. Ведуги объясняется изменением севооборотов в сторону роста посевов, прежде всего сахарной свеклы и кукурузы.

В лесной зоне наблюдается обратная картина. Последние десятилетия характеризуются резким снижением темпов смыва со склонов, если судить по снижению темпов аккумуляции. Это связано с двумя причинами. Во-первых, после интенсивной распахашки территории Нечерноземья в послереформенное время, в конце прошлого века, когда применялась троепольная система со значительной долей паров, к настоящему времени площадь пашни сократилась, по некоторым данным, на 10—20%. Во-вторых, самым существенным образом изменились используемые

севообороты. Очень большую долю в них играют многолетние и однолетние травы, составляющие от 25 до 60%, тогда как доля паров и пропашных, с которых повсеместно и отмечается максимальный смыл, снизилась до 5—10% [13].

Заполнение балок наносами в степной и лесостепной зонах по длине, судя по соотношениям современной и суммарной за период сельскохозяйственного освоения аккумуляции, идет равномерно с минимальным опережением от истоков к устью. Исключением являются наиболее приближенные к пашне участки верховьев балок, где практически все отложения датируются последним 30-летием. Это подтверждает суждение о резком приросте величин смыва в этот период, поскольку такой характер переотложений свидетельствует о повышенной нагрузке потока наносами, значительно превышающей его транспортирующую способность. Еще одним примером возрастающей интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на обрабатываемых склонах и в прилегающей к ним долинно-балочной сети является значительная (до 20—25 см) аккумуляция наносов начиная с 1986 г. (время Чернобыльской аварии), легко определяющаяся по повышенному содержанию изотопа цезия-137. В то же время отмечается в целом некоторое снижение интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов в лесной зоне.

Таким образом, использование изотопа цезия-137 для датировки аккумулятивных отложений открывает широкие перспективы для углубленного изучения динамики наиболее интенсивных в настоящее время эрозионно-аккумулятивных процессов.

Авторы выражают признательность за помощь в проведении полевых работ кандидатам географических наук Н. Г. Добровольской, А. А. Ажигирову и Л. Ф. Литвину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pennington W., Cambray R. S., Fisher E. W. Observations on date sediment using fallout Cs-137 as a tracer//Nature. 1973. № 242. P. 324—326.
2. Ritchie J. C., McHenry J. R. Determination of fallout ¹³⁷Cs and naturally occurring gamma-ray emitters in sediments//Internat. J. Applied Radiation Isotopes. 1973. № 24. P. 575—578.
3. Delanne R. O., Patrior W. H., Buresh R. J. Sedimentation rates determined by ¹³⁷Cs dating in rapidly accreting salt marsh//Nature. 1978. № 275. P. 532—533.
4. Campbell B. L., Loughran R. J., Elliott G. L. Caesium-137 as an indicator of geomorphic processes in a drainage basin system//Austr. Geograph. Stud. 1982. V. 20. P. 49—64.
5. Brown R. B., Kling N. H., Cutshall G. F. Agricultural erosion indicated by ¹³⁷Cs redistribution: II. Estimates of erosion rates//Soil. Sci. Soc. of Am. Journal. 1981. V. 45. № 6. P. 1191—1197.
6. Ritchie J. C., McHenry A. Comparison of three methods for measuring recent rates of sediment accumulation//Water Resources Bul. 1985. V. 21. № 1. P. 93—103.
7. Shulj R. K., Overstreet R., Barshed J. On the soil chemistry on cesium-137//Soil. Sci. 1960. V. 89. P. 16—27.
8. Miller J. R., Reitermeier R. F. The leaching of radiostrontium and radiocesium through soil//Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 1963. V. 27. P. 141—144.
9. Lomenick T. F., Tamura T. Naturally occurring fixation of cesium-137 on sediments of lacustrine origin//Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 1965. № 29(4). P. 383—387.
10. Павлоцкая Ф. И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. М.: Атомиздат, 1974. 216 с.
11. Прохоров В. М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. М.: Энергоиздат, 1981. 98 с.
12. Силантьев А. Н., Шкуратова И. Г. Об обнаружении промышленных загрязнений почвы и атмосферных выпадений на фоне глобального загрязнения. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 136 с.
13. Лебедев П. Н., Осетров А. Е. Территориальные различия в использовании обрабатываемых земель//Почвенно-геологические условия Нечерноземья. М.: Изд-во МГУ, 1984. С. 559—563.

Московский государственный университет
Географический факультет
Институт экспериментальной метеорологии

Поступила в редакцию
12.XII.1989

RADIOISOTOPE TECHNIQUE OF ASSESSMENT OF THE PRESENT-DAY DEPOSITION RATE WITHIN DRAINAGE BASINS

V. N. GOLOSOV, I. V. OSTROVA, A. N. SILANTYEV,
I. G. SHKURATOVA

Summary

The authors suggest to use cesium-137 (which came into being as a result of nuclear explosions in open atmosphere) as a marker dating recent deposits within various links of erosional systems (from slope to river valley). The technique of field sampling and laboratory treatment is described, as well as results interpretation; the latter varies depending on the position of the zone of sedimentation. The technique described has been applied to assess changes in average rate of deposition within balka's systems in the forest zone, forest-steppe and steppes of the USSR.

УДК 551.4.012

В. А. МОЛОДОЖЕНОВ

ПРИНЦИПЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ МОРФОСТРУКТУР В ВОЛГОГРАДСКОМ ПОВОЛЖЬЕ

Структурно-геоморфологический анализ широко используется в геологоразведочных работах на нефть и газ. Однако в старых нефтегазодобывающих районах, к которым относится и Волгоградское Поволжье, фонд крупных структур практически исчерпан. Основные перспективы здесь связываются с мелкими ловушками. Последние нередко погребены в глубоко залегающих горизонтах осадочного чехла и не столь отчетливо проявляются на земной поверхности. Все это наряду с неоднородными ландшафтными условиями заметно усложняет структурно-геоморфологические исследования, требуя детальной разработки по возможности унифицированных принципов прогнозирования объектов.

Главная цель структурно-геоморфологического анализа при нефтегазопроисловых работах — картографирование локальных морфоструктур. Под морфоструктурой мы понимаем совокупность форм и элементов рельефа, отражающих геологическую структуру, сформированную разновозрастными тектоническими движениями. Это может быть как целостная положительная или отрицательная форма рельефа (куполовидный останец, чашеобразное понижение), так и нередко выровненный, сравнительно однородный участок местности, насыщенный более мелкими тектогенными формами.

В основу морфоструктурной информации положены индикаторы тектонических движений (геоиндикаторы), образующие эндогенные геоморфологические аномалии в понимании Л. Б. Аристарховой [1]. Под геоиндикаторами подразумеваются прежде всего процессы или явления, возникновение которых можно интерпретировать как результат реакции морфогенеза на дифференцированное проявление новейшего и современного тектонического режима. К таким индикаторам относятся местное увеличение донного вреза и распластывание русел водотоков, их спрямление и интенсивное меандрирование, конвергенция и фуркация, сужение и расширение меандрового пояса и днищ долин, заваленные излучины, резкая овражная расчлененность, перестройка мелкой эрозионной сети, усиление линейно-плоскостного смыва и избыточное накопление рыхлых отложений, активизация гравитационных, эоловых, других рельефообразующих процессов.

Проявление тектоники не исчерпывается встречным, компенсационным рельефообразованием. Геоиндикаторами служат также показатели непосредственного воздействия дифференцированных подвижек на строение земной поверхности. Это деформация геоморфологических уровней, увеличение уклона продольного