

Л.Н. Трофимец¹, Е.А. Паниди², Т.Л. Иванеха³, А.И. Петелько⁴

ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ЛОЖБИННОГО КОМПЛЕКСА РАСПАХИВАЕМЫХ СКЛОНОВ

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся результаты оценки эрозии распахиваемого склона в области тальвегов древних ложбин микро- и мезомасштаба (не более 400 м длиной) радиоцезиевым методом, дополненным методами топографии, ГИС-анализа и дистанционных исследований Земли. Показано, что послонный отбор проб почвы в тальвегах современных ручьев, хорошо различимых на распахиваемых склонах, позволяет получить зависимость смыва почвы (выраженного в сантиметрах слоя) и активности цезия-137 в пахотном горизонте почвы. Приведение данных по активности цезия-137 к единой шкале времени (посредством учёта времени радиоактивного распада) позволило увеличить расчётную выборку (по сравнению с ранее опубликованными данными) и получить линейную зависимость, оцениваемую коэффициентом корреляции 0,98 (значимым при уровне доверительной вероятности $p=0,05$). Рассчитанная с использованием этой зависимости мощность смытого слоя почвы в области водораздельной поверхности составила 1 см за 26 лет. Мощность смытого слоя в зоне тальвегов ложбин у основания склона, в его вогнутой части (зоне аккумуляции), составила около 6 см за тот же период. Установлено, что для корректного применения методов анализа в ГИС при моделировании эрозионной активности ложбин стока необходимо дополнительно использовать данные дистанционного зондирования (космические снимки сверхвысокого, субметрового, пространственного разрешения или аэрофотоснимки) либо проводить полевые обследования в период активизации талого или ливневого стока для установления особенностей поведения ручьёв и ложбин в зонах аккумуляции, которые идентифицируются отрицательными значениями профильной кривизны рельефа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

микрорельеф, смыв почвы, эрозионная сеть, цезий-137

ВВЕДЕНИЕ

В условиях изменяющегося режима увлажнения оценка роли древней флювиальной сети в современных эрозионных процессах на распахиваемых поверхностях междуречий становится всё более актуальной. Ложбинная сеть в перигляциальных областях Русской равнины является наиболее распространённым типом рельефа. Происхождение её, как показано многочисленными исследованиями [Величко и др., 1987; Маркелов, 2004; Голосов, 2006; Еременко, 2009; Алифанов и др., 2010; и др.], связано с чередованием периодов потепления и похолодания в позднем плейстоцене – раннем голоцене. Поздний дриас (10,9–10,2 тысяч лет до н.э.) характеризовался коротким, но сильным похолоданием перед голоценом [Величко и др., 1987]. В это время на территории Европы получили распространение морозобойные трещины, формировались неразвитые ледяные клинья (из-за кратковременности процесса). В период перехода от плейстоцена к голоцену происходила смена холодных перигляциальных условий на умеренно теплые. При оттаивании на месте ледогрунтовых жил возникали

¹ Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, факультет естественных наук, кафедра географии; Орёл, Россия; *e-mail*: trofimec_l_n@mail.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, институт наук о Земле, кафедра картографии и геоинформатики; Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: panidi@ya.ru, e.panidi@spbu.ru

³ Центр химизации и сельскохозяйственной радиологии «Орловский»; Орёл, Россия

⁴ Новосильская ЗАГЛЮС; Мценск, Россия

отрицательные формы рельефа с повышениями в местах межтрещинных пространств. На земной поверхности в областях распространения систем полигонально-жильных структур формировался палеокриогенный микрорельеф [Алифанов и др., 2010].

Реликтовая криогенная морфоскульптура была заложена на большей части Европейской территории России (ЕТР). А.А. Величко [Величко и др., 1973] выделил на территории Русской равнины три широтных пояса реликтовой криогенной морфоскульптуры. Бассейн верхней Оки на карте А.А. Величко расположен на территории распространения реликтового (позднеплейстоценового) криогенного полигонального и слитно-полигонального, блочно-западного рельефа.

Влияние микрорельефа на почвенные свойства, по словам И.П. Герасимова и М.А. Глазовской [Герасимов, Глазовская, 1960], «в отличие от других факторов, выражается, прежде всего, в том, что он способствует чрезвычайно большой дифференциации на земной поверхности всех явлений, составляющих сущность почвообразования...». По словам В.М. Фридланда [Фридланд, 1984], «...чем более интенсивно рельеф перераспределяет влагу... тем более дифференцирован почвенный покров...». Последние слова определяют актуальность исследований, направленных на изучение эрозионных процессов и связанной с ними пространственной изменчивости свойств почв. Следует подчеркнуть и ещё один аспект важности изучения тенденций в развитии эрозионных процессов. Интенсивность смыва определяет степень уменьшения относительной высоты распахиваемых склонов. Чем больше смыв с распахиваемых склонов, тем больше поднимается поверхность «принимающих» склонов балочных систем. Этот процесс может привести как к снижению интенсивности смыва почвы на распахиваемых склонах (вследствие уменьшения высотного градиента), так и (в случае развития по экстремальному типу условий выпадения атмосферных осадков) к поступлению огромного количества наносов в реки-водоприёмники.

Стволами эрозии, по выражению М.И. Маккавеева [Маккавеев, 2003], являются на распахиваемых склонах тальвеги древних эродированных ложбин и современные ручьи, далеко не всегда совпадающие с тальвегами ложбин. Ложбины микро- и отчасти мезомасштаба на местности визуально практически не обнаруживаются. Плохо различимы они и на картах масштаба 1:10000, которые используются в практике землепользования [Трофимец и др., 2015, 2016; Panidi *et al.*, 2016; Trofimets, Panidi, 2015]. Авторами статьи обнаружено, что в результате анализа модели рельефа средствами ГИС возможно установить размеры ложбин на основе карт масштаба 1:10000 при использовании космических снимков в качестве подтверждающих и уточняющих материалов [Трофимец и др., 2015, 2016; Panidi *et al.*, 2016; Trofimets, Panidi, 2015].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование форм микрорельефа на распахиваемых склонах в ареале серых лесных почв проводилось в бассейне реки Сухая Орлица (левый приток реки Оки). Экспериментальный полигон (рисунок 1) расположен на правом склоне долины реки. Основные методы, использованные в работе, включили нивелирование поверхности вдоль трансект, назначенных поперёк склона и пересекающих ложбины палеокриогенного происхождения; использование космического снимка сверхвысокого пространственного разрешения (использовались снимки WorldView разрешением 0,5 м/пикс., предоставленные DigitalGlobe Foundation), позволившее на рекогносцировочном этапе выбрать экспериментальную площадку, в пределах которой изучались ложбинные формы рельефа, и уточнить размеры ложбин; отбор проб почвы в пахотном горизонте послойный (через 2 см) или интегральный (из пахотного слоя 0–20 см) с последующим радиологическим анализом проб почвы на УСК «Гамма Плюс» (радиоцезиевый метод); ГИС-анализ поверхности рельефа, построенной на основе карты масштаба 1:10 000.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первая задача, которая решалась в ходе исследования – установить, как изменяются характеристики микроложбины по длине склона от его основания (трансекта 112) до водораздельной поверхности (трансекта 115) (рисунок 1). На топографической карте (горизонталли на рисунке) видно, что в зоне трансект 112 и 114 микроложбина практически не выражена (горизонталли имеют слабую кривизну в зоне трансекты 112 и практически не имеют изгиба в зоне трансекты 114).

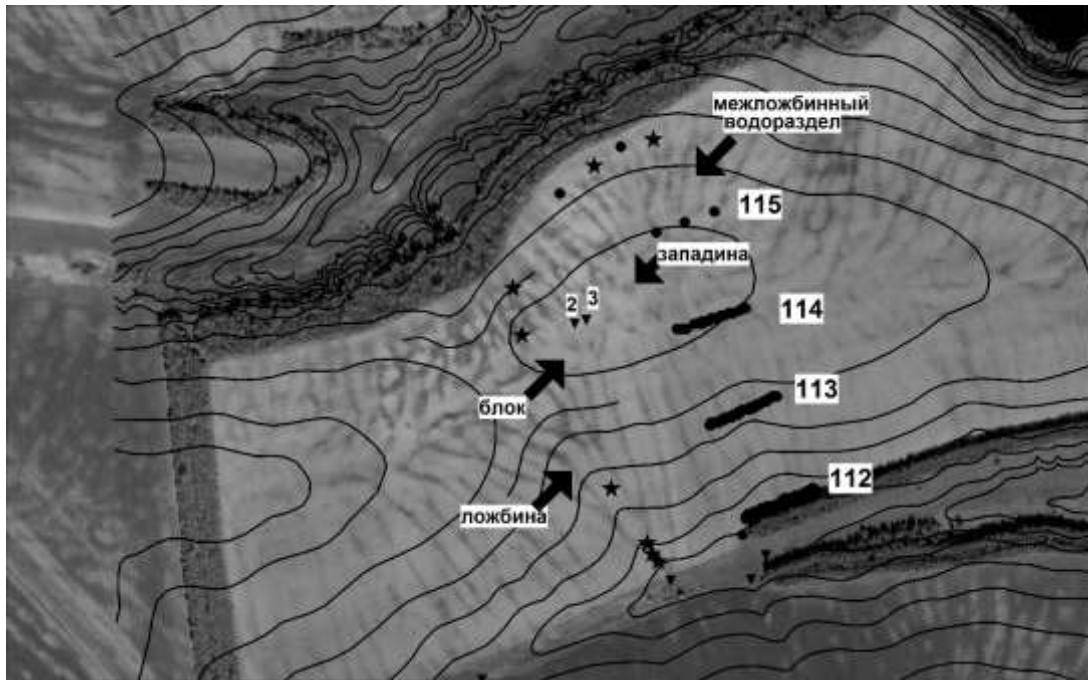


Рисунок 1. Исследуемая территория; 112–115 – номера трансект, пересекающих распахиваемый склон; чёрные точки – места отбора проб почвы; 2, 3 – точки послойного отбора проб почвы в апреле 2016 г. (соответственно, в области блока для оценки опорного значения активности цезия-137 и межблочного понижения); звёздочки – места послойного отбора проб почвы в апреле 2015 г. в тальвегах современных ручьёв

Figure 1. Studied area; 112–115 – transects on the arable slope; black points are the places of soil sampling; 2, 3 – places of layer-by-layer soil sampling in April 2016 (on the block elevation, for cesium-137 background radioactivity estimation, and in the interblock depression respectively); asterisks – places of layer-by-layer soil sampling in April 2015 in the thalwegs of modern streams

По результатам нивелирования вдоль трансект было установлено, что глубина ложбины у основания склона – 57,1 см (трансекта 112), в зоне трансекты 113 – 55,2 см. В приводораздельной части склона глубина ложбины уменьшается до 30 см (трансекта 114). Очевидно, что из-за небольшой глубины крайне сложно установить местоположение её тальвега визуально в поле. Только детальная топографическая съёмка позволяет это сделать. Однако топографическая съёмка – это достаточно трудоёмкий и дорогостоящий процесс. В связи с этим было принято решение найти способ оценки смыва почвы методом послойного отбора почвы в таких элементах эрозийной сети, установить местоположение которых в поле не представляет затруднений. Построение зависимости (для этих элементов) активности цезия-137 в пахотном горизонте 0–20 см от величины смыва почвы, определенного методом послойного отбора проб по глубине (в той же точке) позволит в случае достаточно тесной связи использовать эту зависимость в качестве основной (или контрольной) для оценки смыва почвы в любой измеряемой точке участка. Контрольной эта зависимость может служить для верификации величины смыва почвы, рассчитанной по формуле 1:

$$R = 10 \times BZp / (t - t_0) \times (A - 1) \quad (1)$$

где R – смыв (т/га в год); B – плотность почвы (1,11 т/куб. м); Zp – мощность пахотного горизонта (0,20 м); $(t-t_0)$ – период, прошедший с даты аварии на ЧАЭС до даты отбора проб почвы; A – отношение активности цезия-137 в интегральном образце почвы к фоновой активности (за фон была принята радиоактивность почвы на блочных повышениях водораздела, равная 180 Бк/кг); 10 – коэффициент перехода к т/га.

В случае отбора пробы в виде интегрального образца из пахотного горизонта расчёт интенсивности смыва почвы может быть осуществлён по формуле 2:

$$R = h \times 10000 \times 1110 / (t - t_0) \quad (2)$$

где h – слой смытой почвы, м; 10000 – 1га, выраженный в кв. м; 1110 – плотность серой лесной почвы, кг/куб. м.

Сравнение величин смыва почвы, рассчитанного по этим двум формулам, в случае их хорошей сходимости позволяет минимизировать вероятность грубых просчётов.

Элементами эрозионной сети, хорошо распознаваемыми в поле, являются современные ручьи, не всегда совпадающие с тальвегами микро- и мезоложбин. Эти ручьи хорошо распознаются как на свежевспаханном поле, так и в другие периоды (рисунок 2), в частности, эрозионная сеть хорошо дешифрируется на космических снимках, полученных в весенний период. Хорошо идентифицируют тальвеги ручьёв растения-индикаторы (сорные виды) [Трофимец и др., 2014, 2016; Panidi et al., 2016].

На диаграмме послойного распределения активности цезия-137 (рисунок 3) в тальвеге ручья 19914 хорошо видно, что из 20 см пахотного слоя смыто 2 см (активность цезия-137 на глубине 16–18 см резко уменьшается со 140 Бк/кг до 67,5 Бк/кг). Расчёт по формуле 1 при радиоактивности почвы в слое 0–20 см 132,6 Бк/кг позволил оценить интенсивность смыва почвы (22,4 т/га в год). Расчёт смыва почвы в той же точке (при слое смытой почвы 2 см) по формуле 2 показал, что интенсивность смыва составляет 17,07 т/га в год. Таким образом, расчёт по обеим формулам показал близкие результаты. Погрешность составила около 20 %. Эта погрешность находится в пределах точности радиоцезиевого метода.

В ходе исследования было обнаружено, что послойный отбор проб почвы по глубине на распахиваемых склонах не следует производить на участках склона, сравнительно плоских и наиболее удобных для распашки. Здесь почва интенсивно и глубоко пашется, имеются признаки ее деградации (активность цезия-137 низкая, во всех слоях менее 100 Бк/кг). Это свидетельствует о припахивании глубоких, не загрязненных радиоцезием почвенных горизонтов. Участки таких почв хорошо идентифицируются на весенних космических снимках как зоны, в пределах которых тон снимка резко отличается от основного тона, изображение участка деградированных почв имеет хаотичную текстуру.



Рисунок 2. Ручьи на свежевспаханном поле (слева), весной до вспашки (в центре) и после всхода озимых (справа)

Figure 2. Modern streams on the arable slope, after plowing – left, before plowing – center, and after beginning of winter crops vegetation growth – right

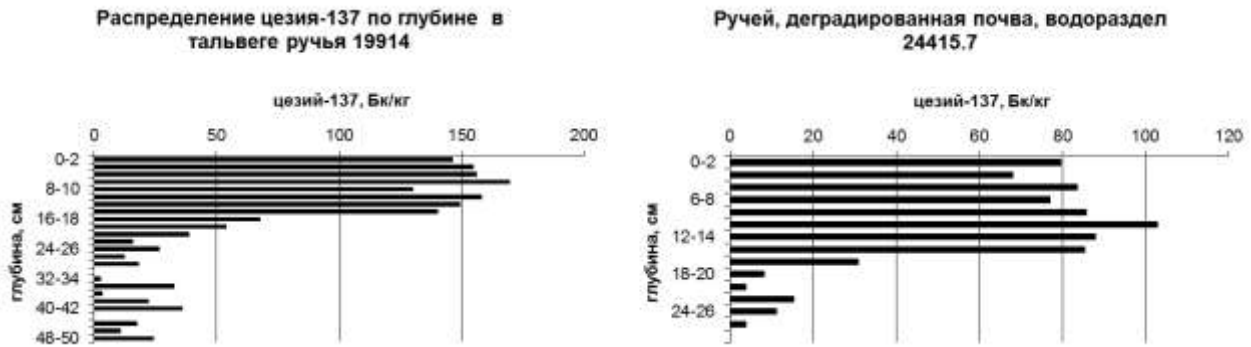


Рисунок 3. Распределение цезия-137 по глубине в тальвегах ручьёв 19914 (слева) и 24415, в зоне деградированных почв (справа)

Figure 3. Distribution of the Cesium-137 activity in the arable horizon of the soil, in the thalwegs of stream 19914 (left) and stream 24415, in the zone of degraded soil (right)

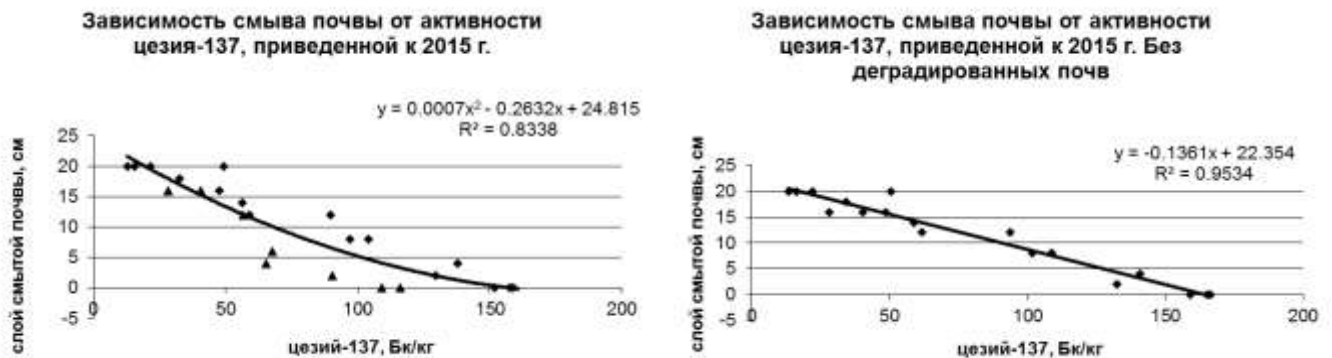


Рисунок 4. Зависимости активности цезия-137 и величины смыва почвы, построенные с учётом проб на участках деградированных почв (слева) и без них (справа)

Figure 4. Dependencies between Cesium-137 activity and thickness of washed out soil layer with (left) and without (right) use of degraded soil samples data

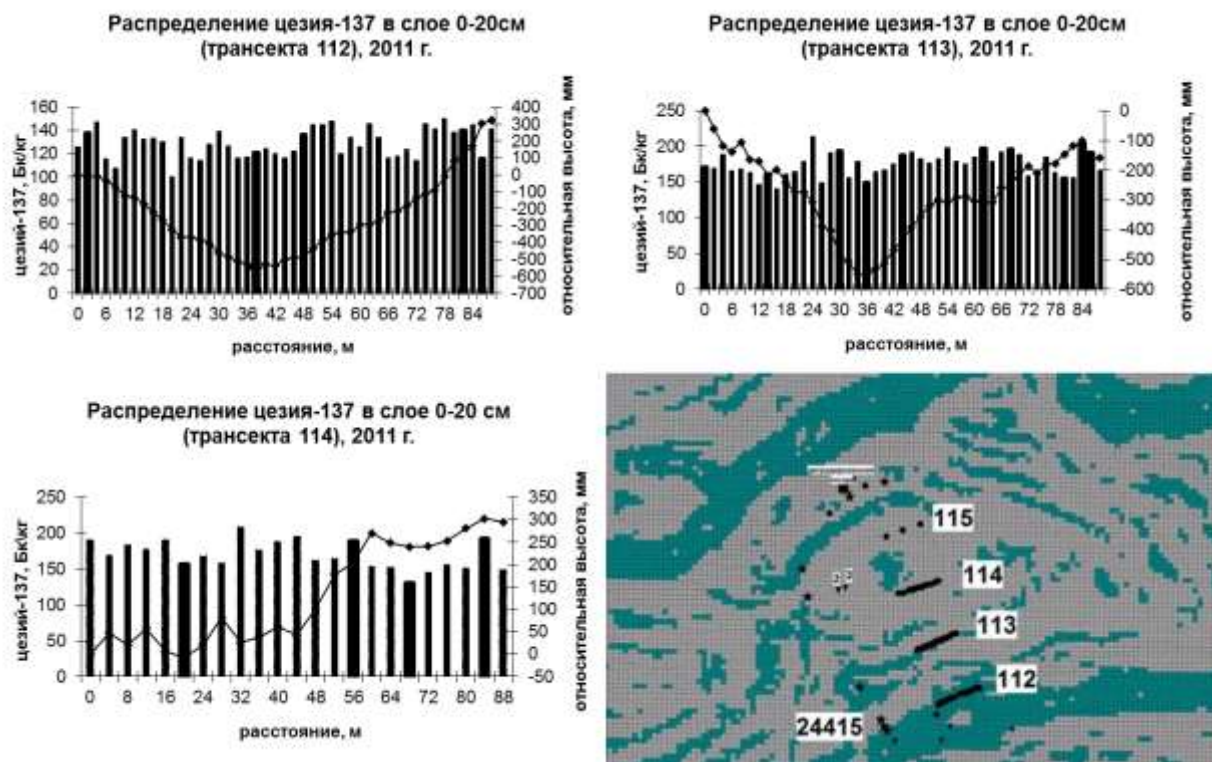


Рисунок 5. Распределение цезия-137 в почве вдоль трансект на разных высотных позициях; 112 – основание склона; 113 – средняя часть склона; 114 – приводораздельное пространство; на карте профильной кривизны (правое нижнее изображение) тёмные (тёмно-зелёные) зоны – области отрицательной профильной кривизны (области аккумуляции)
Figure 5. Distribution of the Cesium-137 in the arable horizon in lower (112), middle (113) and upper (114) parts of slope; dark (dark green) areas on the relief profile curvature map (lower right image) are the areas of negative profile curvature (accumulation zones)

На зависимости, построенной с учётом точек отбора проб в зоне деградированных почв (треугольные значки на рисунке 4), видно, что при одном и том же значении радиоактивности почвы смыв почвы в области деградированных почв существенно занижается, если его определять по результатам послойного отбора проб. В среднем занижение составляет не менее 50 %. Такие точки не следует использовать при оценке смыва почвы методом послойного отбора проб. Эти точки были исключены из анализа при построении расчётной зависимости. В результате расчётная зависимость стала более тесной, оцениваемой коэффициентом корреляции 0,98. Оценка значимости коэффициента корреляции проверялась по критерию Стьюдента (при уровне доверительной вероятности $P=0,05$ и количестве степеней свободы $V=16$). Полученная зависимость, помимо выполнения непосредственной функции – оценки смыва почвы в точке – позволяет в первом приближении оценить также и уменьшение высоты склоновой поверхности.

В настоящем исследовании по данным топографической съёмки было определено местоположение тальвегов ложбин (рисунок 5). Отбор проб почвы и последующий радиологический анализ позволили дать оценку уменьшения относительной высоты дна ложбины (высоты склона) на разном расстоянии от водораздела. Расчёт на основании полученной зависимости (рисунок 4) позволил установить зоны наибольшего изменения склоновой поверхности (таблица 1). Из таблицы видно, что наименее интенсивно изменяется приводораздельная часть склона, наиболее интенсивно – основание. Это объясняется тем, что у основания склона энергия потока увеличивается и, несмотря на то, что трансекта 112 пересекает

вогнутую часть склона (зону аккумуляции, рисунок 5), формирующийся в период талого стока в тальвеге ложбины поток осуществляет достаточно интенсивную эрозионную работу, вынос наносов за пределы распахиваемого склона в месте впадения микроложбины в ложбину мезомасштаба составляет ~26,2 т/га в год.

Таблица 1. Мощность смытого слоя почвы в зоне тальвега ложбины за период с 1986 по 2011 год (определенная радиоцезиевым методом)

Table 1. Thickness of the washed out soil layer in the thalweg for the period of 1986–2011

№ трансекты	Местоположение трансекты на склоне	Активность цезия-137 в слое 0–20 см, Бк/кг (2011г.)	Мощность смытого слоя, см за 25 лет	Интенсивность смыва почвы, т/га в год (формула 2)
112	У основания	120,8	5,9	26,2
113	В средней части	147,9	2,2	9,8
114	В приводораздельной части	156,7	1,0	4,4

ВЫВОДЫ

Послойный отбор проб почвы и оценка смыва почвы (в сантиметрах смытого слоя) в тальвегах современных ручьёв радиоцезиевым методом позволяют устанавливать величину изменения относительной высоты поверхности распахиваемого склона в результате эрозионных процессов, протекающих как в современных ручьях, так и в микроложбинах, визуально в поле не определяемых. Наносы, откладывающиеся у основания склона, прорезаются ручьями, и в аккумулятивной зоне формируются эрозионные борозды, которые могут быть учтены в расчётах эрозионного преобразования склоновых поверхностей только в полевых условиях с привлечением радиоцезиевого метода, дополненного топографической съёмкой и дистанционными методами. При изучении процесса смыва почвы с использованием цифровой модели рельефа, построенной по карте масштаба 1:10000, без учёта натуральных наблюдений (наземных или дистанционных), неизбежны большие погрешности в оценке смыва почвы в зонах аккумуляции (в зонах отрицательных значений профилльной кривизны).

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-05-07463 А.

Использованные космические снимки предоставлены в рамках гранта DigitalGlobe Foundation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю. Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины. – М.: ГЕОС, 2010. – 160 с.
2. Величко А.А. Основные особенности реликтовой криогенной морфоскульптуры и принципы её картирования // Палеокриология в четвертичной стратиграфии и палеогеографии / Под ред. В.В. Баулина и С.М. Цейтлина. – М.: Наука, 1973. – С. 121–134.
3. Величко А.А., Морозова Т.Д., Бердников В.В., Нечаев В.П., Цацкин А.И. Палеогеографические предпосылки дифференциации почвенного покрова и развитие эрозионных процессов // Почвоведение. – 1987, № 10. – С. 102–112.
4. Герасимов И.П., Глазовская М.А. Основы почвоведения и географии почв. – М.: Географгиз, 1960. – 490 с.
5. Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. – М.: ГЕОС, 2006. – 296 с.

6. *Еременко Е.А.* Ложбинный мезорельеф центральных и южных районов Восточно-Европейской равнины. Автореферат ... дисс. канд. геогр. наук. – М., 2009. – 24 с.
7. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в её бассейне. – М.: Географический факультет МГУ, 2003. – 355 с.
8. *Маркелов М.В.* Современные эрозионно-аккумулятивные процессы в верхних звеньях гидрографической сети лесной и лесостепной зон. Автореферат ... дисс. канд. геогр. наук. – М., 2004. – 26 с.
9. *Трофимец Л.Н. Паниди Е.А., Чаадаева Н.Н.* Индикационные методы при изучении современной эрозионной сети на распахиваемых склонах, осложнённых ложбинным рельефом // Учёные записки Орловского государственного университета. Серия естественные, технические и медицинские науки. – Орёл: Изд-во ФГБОУ «Орловский государственный университет». – 2014, № 6 (62). – С. 94–101.
10. *Трофимец Л.Н. Паниди Е.А., Иванеха Т.Л.* Роль современной ручейковой сети в трансформации рельефа распахиваемых склонов // Учёные записки Орловского государственного университета. Серия естественные, технические и медицинские науки. – Орёл: Изд-во ФГБОУ «Орловский государственный университет». – 2015, № 4 (67). – С. 447–453.
11. *Фридланд В.М.* Структуры почвенного покрова мира. – М.: Мысль, 1984. – 235 с.
12. *Panidi E., Trofimetz L., Sokolova J.* Application of phyto-indication and radiocesium indicative methods for microrelief mapping. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, – Vol. 34, 2016. – Paper ID: 012024, 6 p. doi:10.1088/1755-1315/34/1/012024.

Lubov N. Trofimetz¹, Evgeny A. Panidi², Taras L. Ivanekha³, Anatoly I. Petelko⁴

ESTIMATION OF EROSION ACTIVITY IN THE RAVINE COMPLEX OF ARABLE SLOPES

ABSTRACT

The paper describes the results of the evaluation of erosion on arable slopes (in the thalweg part of the ancient microravines, no more than 400 m in length). The radiocesium method has been applied, augmented by the methods of the topographic survey, remote sensing and GIS analysis. It has been shown that layer-by-layer soil sampling in the thalwegs of the modern streams (which are clearly visible on arable slopes) allows obtaining the dependence of soil runoff (in centimeters of layer) from the activity of Cesium-137 presented in the arable horizon. Conversion of Cesium-137 activities onto a common time scale (by taking into account the radioactive decay) made it possible to increase the analyzed data series (in comparison to the previously published data) and to obtain the linear dependence with the correlation coefficient of 0.98 (significant at confidence level $p=0.05$). The 1 cm soil layer was washed out during 26 years on the watershed surface, according to the obtained dependence. About 6 cm layer over the same period was washed out in the thalwegs of the ravines in the lower part of the slope (in its concave part that is accumulation zone). We have found that very high resolution satellite imagery, or aerial photographs, of field surveys are needed for the correct implementation of the GIS analysis when modeling erosion activity of the streambeds. These supporting data have to be collected during the period of snowmelt or rainfall to

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev, Faculty of Natural Sciences, Department of Geography; Orel, Russia; e-mail: trofimetc_1_n@mail.ru

² Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Cartography and Geoinformatics; St. Petersburg, Russia; e-mail: panidi@ya.ru, e.panidi@spbu.ru

³ Center of Chemicalization and Agricultural Radiology “Orlovsky”; Orel, Russia

⁴ Novosilskaya ZAGLOS; Mtsensk, Russia

understand the behavior of streams in the accumulation zones identified by negative values of profile curvature of the relief.

KEYWORDS:

microrrelief, soil runoff, erosion network, Cesium-137

ACKNOWLEDGEMENT

The study was partially supported by Russian Foundation for Basic Research (RFBR), research project No. 15-05-07463 A.

Used satellite imagery is courtesy of the DigitalGlobe Foundation.

REFERENCES

1. Alifanov V.M., Gugalinskaya L.A., Ovchinnikov A.Yu. Paleokriogenez i raznoobrazie pochv tsentra Vostochno-Evropeiskoi ravniny [Paleocryogenesis and diversity of soils at the central part of East European plain], Moscow, GEOS, 2010, 160 p. (in Russian).
2. Velichko A.A. Osnovnye osobennosti reliktovoi kriogennoi morfoskop'tury i printsipy eyo kartirovaniya [The main features of the relict cryogenic morphosculture and the principles of its mapping]. In Paleokriologiya v chetvertichnoi stratigrafii i paleogeografii, Moscow, Nauka, 1973, pp. 121–134 (in Russian).
3. Velichko A.A., Morozova T.D., Berdnikov V.V., Nechaev V.P., Tsatskin A.I. Paleogeograficheskie predposylki differentsiatsii pochvennogo pokrova i razvitie erozionnykh protsessov [Paleogeographic background of differentiation of the soil cover and development of erosion processes]. Pochvovedenie, 1987, Vol. 10, pp. 102–112 (in Russian).
4. Gerasimov I.P., Glazovskaya M.A. Osnovy pochvovedeniya i geografii pochv [Fundamentals of soil science and soil geography]. Moscow: Geografiz, 1960, 490 p (in Russian).
5. Golosov V.N. Erozionno-akkumulyativnye protsessy v rechnykh basseynakh osvoennykh ravnin [Erosion-accumulative processes in the river basins on cultivated plains]. Moscow: GEOS, 2006, 296 p (in Russian).
6. Eremenko E.A. Lozhbinnyi mezorel'ef tsentral'nykh i yuzhnykh raionov Vostochno-Evropeiskoi ravniny [Ravine mesorelief of the central and southern parts of East European plain]. Avtoreferat kand. diss., Moscow, 2009, 24 p. (in Russian).
7. Makkaveev N.I. Ruslo reki i eroziya v eyo basseine [The river bed and erosion in its basin]. Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU, 2003, 355 p. (in Russian).
8. Markelov M.V. Sovremennye erozionno-akkumulyativnye protsessy v verkhnikh zven'yakh gidrograficheskoi seti lesnoi i lesostepnoi zon [Modern erosion-accumulative processes in the upper parts of the hydrographic network in forest and forest-steppe zones]. Avtoreferat kand. diss., Moscow, 2004, 26 p. (in Russian).
9. Trofimetz L.N. Panidi E.A., Chaadaeva N.N. Indikatsionnye metody pri izuchenii sovremennoi erozionnoi seti na raspakhivaemykh sklonakh, oslozhnennykh lozhbinnykh rel'efom [Indicative methods in the study of modern erosion network on arable slopes complicated with ravine relief]. Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya estestvennye, tekhnicheskie i meditsinskie nauki, Orel: FGBOU Orlovskii gosudarstvennyi universitet, 2014, Vol. 6 (62), pp. 94–101 (in Russian).
10. Trofimetz L.N. Panidi E.A., Ivanekha T.L. Rol' sovremennoi rucheikovo seti v transformatsii rel'efa raspakhivaemykh sklonov [The role of the modern stream network in the relief transformation on arable slopes]. Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya estestvennye, tekhnicheskie i meditsinskie nauki, Orel: FGBOU Orlovskii gosudarstvennyi universitet, 2015, Vol. 4 (67), pp. 447–453 (in Russian).
11. Fridland V.M. Struktury pochvennogo pokrova mira [The soil cover structures in the world]. Moscow, Mysl', 1984, 235 p. (in Russian).

12. Panidi E., Trofimetz L., Sokolova J. Application of phyto-indication and radiocesium indicative methods for microrelief mapping. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 34, 2016, Paper ID: 012024, 6 p. doi:10.1088/1755-1315/34/1/012024.

УДК 630.43

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-332-338

Х.Б. Куулар¹, Э.Н.Р. Ондар²

ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА

АННОТАЦИЯ

В статье приведены количественные соотношения между характеристиками пожаров растительности и климатическими данными на территории Республики Тыва. По данным метеостанций Республики Тыва, с 1970-х годов зафиксировано повышение среднегодовой температуры. На фоне малого количества выпадающих годовых осадков это привело к увеличению продолжительности активной инсоляции и, как следствие, резкому росту количества пожаров растительности и площади выгоревших участков.

В период 1975–2005 гг. в тёплое время года температура воздуха повысилась на $2,9 \pm 0,7$ °С в регионе. С ростом температуры воздуха количество лесных пожаров увеличилось в 2,2 раза по сравнению с 1960–1990 гг. Площадь пройденных пожарами участков увеличилась в 19,6 раза. В этот период на землях лесного фонда региона произошло 5020 пожаров на общей площади 578463 га, средняя площадь 1 пожара составила 54 га. В последние годы (2006–2016 гг.) в тёплое время года температура воздуха повысилась на $1,9 \pm 0,7$ °С. Количество пожаров увеличилось в 0,9 раза, площадь пройденных пожарами участков увеличилась в 19,6 раза. В этот период на землях лесного фонда региона произошло 2117 пожаров на общей площади 461455 га, средняя площадь 1 пожара 198 га.

Статистические данные показывают масштабы катастрофического положения с пожарами растительности в регионе. На долю крупных лесных пожаров в республике в среднем приходится 85,4 % от всех случаев лесных пожаров. Наиболее пожароопасные годы с большими выгоревшими участками были 2002, 2007, 2008, 2014 и 2015 гг.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

потепление климата, лесные пожары, динамика пожаров, взаимосвязь

ВВЕДЕНИЕ

В Сибири наблюдается увеличение частоты возникновения пожаров и продолжительности пожароопасного сезона в последние десятилетия [Волокитина, Софронов, 2002; Soja et al., 2006; Пономарёв, Харук, 2016 и др.]. Условиям возникновения и распространения пожаров и их последствиям в горах Южной Сибири посвящены работы Л.В. Буряк, А.И. Бузыкина, Э.Н. Валендика, А.В. Волокитиной, Г.А. Доррера, Г.А. Ивановой, Н.П. Курбатского, Б.П. Колесникова, И.Ю. Коропачинского, Н.И. Красавиной, Н.П. Поликарпова, Н.С. Санниковой, М.А. Софронова, Т.М. Софроновой, Э.П. Поповой, А.И. Сухинина, Э.С.П. Якимова, Е.И. Пономарёва, В.И. Харука и других. Показатели частоты пожаров и степени горимости

¹Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН; 667007, Кызыл, ул. Интернациональная, 117а; e-mail: k-k-188@list.ru

²Московский государственный институт международных отношений, МИЭП, Международный бизнес и управление инновациями; 143005, Одинцово, ул. Новоспортивная, 3; e-mail: nach17@inbox.ru