РАДИОЦЕЗИЕВЫЙ, БИОИНДИКАЦИОННЫЙ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ НА РАСПАХИВАЕМЫХ СКЛОНАХ

Л.Н. Трофимец*, Е.А. Паниди**

*ФГБОУ ВО Орловский государственный университет, г. Орел, Россия, trofimetc_l_n@mail.ru

**ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия, panidi@yandex.ru

RADIOCESIUM, BIOINDICATVE AND GEOSPATIAL ANALYSIS IN THE STUDY CONTEXT OF EROSION NETWORK OF THE ARABLE SLOPES

L.N. Trofimets*, E.A. Panidi**

* Orel State University, Orel, Russia, trofimetc_l_n@mail.ru

** Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia, panidi@yandex.ru

Abstract. Study of the relief transformation at arable lands becomes an actual problem due to the intensive use of interfluve sloped surfaces. This research examines the current state and dynamics of erosion network at arable slope in the upper Oka river basin. The riverbeds of modern streams are identified using the phytoindication analysis. The feature was detected out that these streams do not necessarily match with the ancient stream thalwegs. The radiocaesium analysis made it possible to show that soil washout magnitudes are comparable in the thalwegs of current and ancient streams, which are comparable in the length. Geomorphometric methods joined with the geoinformation analysis allow to quantify the role of current erosion network in transformation of the interfluve sloped surfaces relief.

Keywords: Soil Runoff, Cesium-137, Arable Slope Soil Migration, Soil Loss Estimation.

Введение. В условиях интенсивного хозяйственного использования склоновых поверхностей междуречий актуальной становится проблема изучения трансформации рельефа распахиваемых территорий. В данном исследовании рассматриваются состояние и динамика современной эрозионной сети на распахиваемом склоне в бассейне верхней Оки. Идентифицированы русла современных ручьев, установлено, что смыв почвы в тальвегах ручьев, по длине сопоставимых с древними ложбинами, сравним с величиной смыва в тальвегах древних ложбин. Произведена количественная оценка роли современной эрозионной сети в преобразовании рельефа склоновых поверхностей распахиваемых междуречий.

Постановка проблемы. Вопросы изучения и мониторинга трансформации рельефа распахиваемых склонов особенно актуальны при интенстивной распашке склоновых поверхностей, которая способствует развитию эрозионных процессов и появлению новых эрозионных форм рельефа. Эрозионные процессы в настоящее время протекают как в пределах ложбин стока, сформированных более 10000 лет назад [1–4], так и в тальвегах современных ручьев [2–4]. Современные ручьи не всегда совпадают с тальвегами древних ложбин, и определение их местоположения традиционными методами картометрических измерений и геоморфометрического моделирования (по картам масштаба 1:10 000) оказывается затруднительным.

Кроме того, структуры микрорельефа (к которому относятся тальвеги современных ручьёв), как наиболее крупномасштабные элементы рельефа, подвержены наибольшей временной динамике и наибольшему влиянию искажающих факторов, возникающих при определении их местоположения. Таким образом, актуальными остаются вопросы разработки инструментов верификации и оценки качества карт и моделей при картографировании, моделировании и использовании моделей микрорельефа.

Радиоцезиевый анализ является одним из немногих методов, которые позволяют при сравнительно небольших затратах (как финансовых, так и трудовых) диагностировать почвы разной степени смытости и, как следствие, подтверждать, в том числе, положение русел современных ручьёв. Поэтому ключевым предметом данного исследования явились радиоактивность пахотного слоя серой лесной почвы (оцениваемая по измерениям активности цезия-137 чернобыльского происхождения, содержащегося в почвенном веществе) и связь радиоактивности пахотного слоя с положением соответствующей точки относительно русел современных ручьёв.

Материалы и методы. Работы проводились в пределах экспериментального участка на распахиваемом склоне. Ключевой задачей исследования стало установление роли современной эрозионной сети в преобразовании рельефа распахиваемых склонов. В связи с подобной постановкой задачи, содержание исследования составил комплекс взаимодополняющих методов. Основными из них стали радиоцезиевый анализ почвенных проб, фитоиндикация русел современных ручьёв и комплексный геоинформационный анализ данных измерений и архивных материалов. Перспективными оказались методы геоморфометрии, реализованные в современных ГИС (использовалась ГИС SAGA³).

Пробы почвы отбирались из слоя 0–20 см. Точки отбора проб фиксировались с помощью GNSS-приёмников (GPS-приёмников), в качестве вспомогательных использовались материалы топографической

³ http://www.saga-gis.org

съемки. Пробы подвергались радиологическому и, частично, агрохимическому анализу. Точки отбора совмещались с топографической картой и космическим снимком сверхвысокого разрешения (данные, открыто опубликованы в GoogleEarth⁴), которые использовались в качестве картографической основы.

С использованием методов геоморфометрии [5, 6] рассчитывались некоторые морфометрические показатели рельефа (в частности, плановая и профильная кривизна, а также площадь водосбора), которые затем сопоставлялись со значениями активности цезия-137 в точках отбора почвенных проб.

С помощью метода фитоиндикации было определено положение тальвегов современных ручьев. Также, для установления зоны «активного подземного водосбора», использовался метод биолокации.

Методы геоморфометрии в сочетании с методами геоинформационного анализа позволили количественно оценить роль современной эрозионной сети в преобразовании рельефа склоновых поверхностей распахиваемых междуречий.

Результаты. На рисунке 1 приведен фрагмент космического снимка, на котором обозначены выделенные тальвеги современных ручьев и тальвег древней ложбины-истока балки. На рисунке 2 приведен фрагмент карты площади водосбора, построенной с использованием алгоритма DEMON [6]. На приведённых рисунках видно, что современные ручьи, распознаваемые, в том числе, визуально на космическом снимке, пересекают древние ложбины стока. Ложбины стока, в свою очередь, хорошо распознаются на карте площади водосбора. На данной карте вдоль ложбин стока фиксируются максимальные значения площади водосбора.

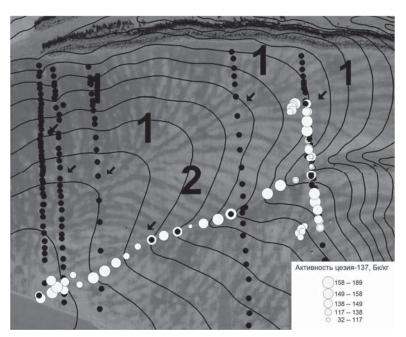


Рис. 1. Активность цезия-137 вдоль тальвега древней ложбины — истока балки (2) и вдоль тальвега современного ручья (1). Космический снимок © Digital Globe, Google

На рисунках 2 и 3 показано положение экспериментального полигона (его размеры составляют на местности 40 на 32 м). В непосредственной близости от полигона выделен и зафиксирован тальвег современного ручья. Данный полигон представляет собой прямоугольный участок склона, разбитый на квадраты со сторонами, равными 2м. В узлах сетки квадратов расположены отметки точек отбора почвенных проб. Относительные высотные отметки точек отбора получены в результате нивелирования, произведённого в условной системе высот. В тальвеге современного ручья также произведён отбор почвенных проб.

Шаг сетки точек отбора проб выбран в соответствии с рекомендациями, разработанными для изучения почв на территориях, характеризующихся распространением полигонально-блочного микрорельефа криогенного происхождения [1]. Положение полигона выбрано так, чтобы он перекрывал тальвег древней ложбины (рис. 3).

Положение тальвега древней ложбины определено по данным нивелирования, выполненного по отметкам точек отбора почвенных проб и включающего семнадцать связанных между собой поперечных ложбине профилей, расположенных с интервалом 2 м. На рисунке 4 приведены показатели активности цезия-137 в тальвеге древней ложбины, пересекающей экспериментальный полигон.

⁴http://www.google.com/earth/



Рис. 2. Карта площади водосбора, чёрные линии — изогипсы, современные ручьи (1), одиночные древние ложбины — 2, древовидные древние ложбины — 3, ложбины мезомасштаба — 4, экспериментальный полигон 40 м х 32 м (5)

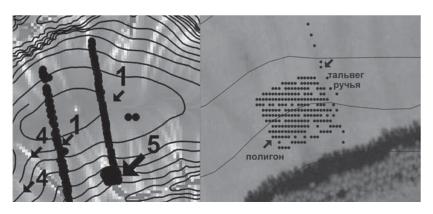


Рис. 3. Слева — фрагмент карты площади водосбора, справа — фрагмент космического снимка. Экспериментальный полигон (5), расположенный в пределах тальвега древней ложбины, рядом тальвег современного ручья (1), тальвеги ложбин на карте площади водосбора (4).

Космический снимок © Digital Globe, Google

Из рисунков видно, что активность цезия-137 в тальвеге современного ручья сопоставима с активностью в тальвеге древней ложбины. Отмечается некоторое превышение активности цезия-137 в тальвеге ложбины по сравнению с активностью в тальвеге ручья, однако это превышение находится в пределах ошибки определения радиоактивности почвы.

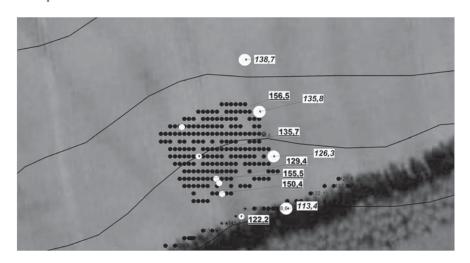
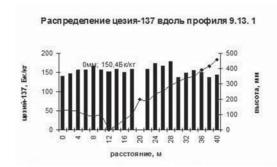


Рис. 4. Активность цезия-137 в точках отбора почвенных проб на экспериментальном полигоне, в тальвеге ложбины (малые кружки) и в тальвеге современного ручья (большие кружки).

Космический снимок © Digital Globe, Google



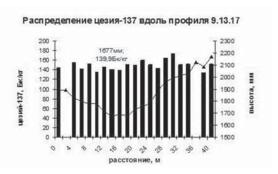


Рис. 5. Распределение активности цезия-137 вдоль профилей 9.13.1 и 9.13.17 на экспериментальном полигоне

Кроме того, в результате экспериментальных исследований с применением метода биолокации было обнаружено, что ручьи направляют свое движение независимо от направления борозд распашки, то есть имеют постоянное русло, которое не исчезает не после весенней, ни после осенней пахоты. Растения-индикаторы позволили четко распознать русла ручьев даже осенью, в октябре [3, 4].

Нанесение на цифровую карту границ активного подземного водосбора ручья, обнаруженного методом биолокации, вычисление площади этого водосбора (с использованием карты площади водосбора, построенной по методу DEMON) показали, что размеры площадей водосбора современных ручьев (в границах, определенных методом биолокации) сравнимы с площадями водосбора древних ложбин такой же длины (данный вывод сделан для случая ложбин с площадью водосбора около 5 тыс. м²).

Выводы. В результате проведенного исследования выявлено, что для современных ручьев (по длине сравнимых с длинами древних ложбин) активность цезия-137 сопоставима по величине и изменяется так же, как в тальвегах ложбин, различимых на карте масштаба 1:10 000. Корректировка активности в тальвегах современных ручьев должна проводиться с учетом экспозиции склона (исследования проводились на склоне южной экспозиции; на склоне северной экспозиции возможны иные соотношения активности). Таким образом, оценка активности цезия-137 в тальвегах ручьев может быть осуществлена по зависимости активности от площади водосбора и профильной кривизны, полученных для ложбин соответствующей категории [2–4].

По активности цезия-137 может быть рассчитан смыв почвы в анализируемой точке. Ранее авторами была предложена формула для расчета смыва в слое почвы 0–20 см за период с 1986 г. [2]. Применение данной формулы при анализе трансформации поверхности склона в пределах экспериментального полигона позволило выяснить, что намыв почвы (в см слоя почвы), определенный по результатам сравнения глубины ложбины на первом и на последнем профилях полигона (рис. 5), находится в соответствии с величиной смыва, рассчитанной радиоцезиевым методом.

Глубина ложбины на вышележащем профиле (профиль 9.13.17) составила 49 см, на нижележащем (профиль 9.13.1) – 46 см. Тем самым на профиле 9.13.1 зафиксирована более высокая отметка днища ложбины. Расчет смыва как функции от активности цезия-137 показал, что смыв в тальвеге на профиле 9.13.17 (полученный по значению активности цезия-137 в 139,9 Бк/кг) составил 3,4 см. Рассчитанное значение смыва в тальвеге на профиле 9.13.1 (активность цезия-137–150,4 Бк/кг) составило 1,9 см. То есть на профиле 9.13.1 радиоцезиевый метод также показал поднятие днища ложбины на 1,5 см (разность смыва на профиле 9.13.17 и профиле 9.13.1). Можно предположить, что из 3,4 см почвы, смытой на верхнем участке тальвега, 1,5 см отложились в тальвеге на нижнем профиле.

Таким образом, радиоцезиевый метод позволяет изучать и оценивать преобразование склоновых поверхностей в результате эрозионных процессов при условии его применения в комплексе с топографическими и дистанционными съемками, а также методами геоинформационного анализа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 12-05-97511-р_центр_а и № 15-05-07463 А.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК REFERENCES

1. *Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю.* Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины. М.: ГЕОС. – 2010. – 160 С.

Alifanov V.M., Gugalinskaya L.A., Ovchinnikov A.Yu. Paleokriogenez i raznoobrazie pochv centra Vostochno-Evropejskoj ravniny [Paleocryogenesis and soils variety of the center of East European Plain]. M.: GEOS. – 2010. – 160 p. (in Russian).

2. *Трофимец Л.Н., Паниди Е.А.* Морфометрический анализ рельефа пахотных склонов водосбора реки при изучении радиоцезиевым методом смыва и аккумуляции почвы. // Материалы VII Всероссийского

гидрологического съезда. Санкт-Петербург, – 2013. – 3 С.

Trofimets L.N., Panidi E.A. Morfometricheskij analiz rel'efa paxotnyx sklonov vodosbora reki pri izuchenii radiocezievym metodom smyva i akkumulyacii pochvy [Morphometric analysis of arable slopes relief of the watershed when studying the soil runoff and accumulation using radiocesium method]. // Materialy VII Vserossijskogo gidrologicheskogo s"ezda. Sankt-Peterburg, – 2013. – 3 p. (in Russian).

3. *Трофимец Л.Н.*, *Паниди Е.А.*, *Милентьев В.Н.* Полевые экспериментальные исследования склонового смыва в зоне распространения палеокриогенеза и морфометрический анализ рельефа. // Ученые записки Орловского государственного университета № 3(59). Орел: издательство ФГБОУ «Орловскийгосударственный университет», -2014. – С. 311–317.

Trofimets L.N., Panidi E.A., Milentev V.N. Polevye e'ksperimental'nye issledovaniya sklonovogo smyva v zone rasprostraneniya paleokriogeneza i morfometricheskij analiz rel'efa [The field experimental study of the slope in the zone of spreading of paleocryogenesis and the morphometric analysis of the relief]. // Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta № 3(59). Orel: izdatel'stvo FGBOU 'Orlovskij gosudarstvennyj universitet', 2014. pp. 311–317 (in Russian).

4. *Трофимец Л.Н.*, *Паниди Е.А.*, *Чаадаева Н.Н*. Индикационные методы при изучении современной эрозионной сети на распахиваемых склонах, осложненных ложбинным рельефом // Ученые записки Орловского государственного университета. – № 6(62). Орел: издательство ФГБОУ «Орловский государственный университет». – 2014. – С. 94–101.

Trofimets L.N., Panidi E.A., Chaadaeva N.N. Indikacionnye metody pri izuchenii sovremennoj e'rozionnoj seti na raspaxivaemyx sklonax, oslozhnennyx lozhbinnym rel'efom [Indicative methods in studying of contemporary erosion network on the arable slopes, complicated with ravine relief]. // Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta № 6(62). Orel: izdatel'stvo FGBOU 'Orlovskij gosudarstvennyj universitet'. – 2014. – pp. 94–101 (in Russian).

- 5. Шарый П.А. Оценка взаимосвязей рельеф-почва-растения с использованием новых методов в геоморфометрии. // Автореферат канд. дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук: Тольятти, -2005. -25 С
- Shary P.A. Ocenka vzaimosvyazej rel'ef-pochva-rasteniya s ispol'zovaniem novyx metodov v geomorfometrii [Assessment of the relief-soil-plants interlinkages using new methods of geomorphometry]. // Avtoreferat kand. dis. na soiskanie uch. stepeni kand. biol. nauk: Tol'yatti, 2005. 25 p. (in Russian).
- 6. *Costa-Cabral M.C., Burges S.J.* Digital Elevation Model Networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. // Water Resources Research, 1994. Volume 30, Issue 6. pp. 1681–1692. DOI: 10.1029/93WR03512.