

УДК 631.47

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ ОТКРЫТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОСАДКОВ В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

**© 2018 г. Г. В. Виндекер<sup>1,2</sup>, Е. Ю. Прудникова<sup>1,3</sup>,  
И. Ю. Савин<sup>1,3,\*</sup>**

*<sup>1</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева,  
Россия, 119017 Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2*

*<sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991 Москва, Ленинские горы, 1*

*<sup>3</sup>Российский государственный университет дружбы народов,  
Россия, 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*

*\*\* <https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: [savigory@gmail.com](mailto:savigory@gmail.com)*

*Поступила в редакцию 11.09.2018, после доработки 14.09.2018,  
принята к публикации 15.11.2018*

В ходе модельного эксперимента на примере образцов пахотного горизонта выщелоченного чернозема, серой лесной и дерново-подзолистой почв в динамике изучали характер трансформации поверхности пахотных почв под воздействием ударной силы дождевых капель. Наблюдения показали, что поверхность выщелоченного чернозема и серой лесной почвы трансформировалась схожим образом с образованием корки, разделенной трещинами. При этом корка содержала в себе участки темной (уплотненный тонкодисперсный материал) и светлой (отмытая пылеватая фракция) окраски. Что касается дерново-подзолистой почвы, на ее поверхности наблюдалось накопление песчаных и отмытых минеральных зерен. По результатам классификации изображений поверхности установлено, что при общей тенденции увеличения площади трещин по мере высыхания образца поверхность выщелоченного чернозема растрескивалась быстрее и сильнее, чем поверхность серой лесной почвы. Кроме того, у двух данных типов почв по-разному менялось соотношение между темной и светлой частями корки. На разных циклах трансформации, разделенных сильными осадками, отмечено перемещение трещин и увеличение площади светлой части корки, сопровождающееся смещением темной части к трещинам. В результате к концу периода измерений произошло увеличение среднего отражения в каналах RGB по сравнению с исходным образцом. Разница в величине отражения между отдельными каналами также возросла. В ходе эксперимента произошло значительное осветление поверхности. Сильнее всего оно затронуло светлую часть корки и выразилось в существенном увеличении отражения в красном канале.

*Ключевые слова:* пахотные почвы, атмосферные осадки, трансформация поверхности

## ВВЕДЕНИЕ

Атмосферные осадки являются одним из главных природных факторов, воздействующих на поверхность пахотных почв в те моменты, когда она свободна от растительного покрова. Воздействие ударной силы дождевых капель вызывает постепенную трансформацию открытой поверхности, которая сопровождается изменением минералогического состава, содержания органического вещества, а также снижением водопроницаемости поверхностного слоя, что приводит к увеличению поверхностного стока и усилению водной эрозии, и таким образом имеет негативные последствия для сельскохозяйственного производства ([McIntyre, 1958](#); [Bresson and Boiffin, 1990](#); [Ben-Dor et al., 2003](#)).

Проведено большое количество лабораторных экспериментов по выявлению влияния осадков различной интенсивности на микроморфологические особенности формирующегося уплотненного слоя и изучению механизма этого процесса ([McIntyre, 1958](#); [Norton, 1987](#); [Le Bissonnais et al., 1989](#); [Chiang et al., 1994](#); [Mermut et al., 1995](#); [Assouline, 2004](#)). В ходе исследований установлено, что основными факторами, определяющими реакцию поверхности на выпадающие осадки, являются гранулометрический состав и стабильность почвенных агрегатов.

В то же время практически не уделялось внимания тому, каким образом меняется поверхность почвы, непосредственно доступная для наблюдения, что имеет особое значение для дешифрирования почвенных характеристик по данным дистанционного зондирования. Показано, что состояние поверхности во время съемки оказывает влияние не только на спектральные характеристики почвы ([Ben-Dor et al., 2003](#); [Eshel et al., 2004](#); [Goldshleger et al., 2004](#); [Савин и Прудникова, 2014](#)), но и на возможность дешифрирования отдельных свойств почв по дистанционным данным ([Prudnikova, Savin, 2018](#)). Однако подобные исследования единичны.

Цель исследования – проследить трансформацию открытой поверхности почв под воздействием атмосферных осадков.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступала открытая поверхность чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого, серой лесной тяжелосуглинистой и дерново-подзолистой супесчаной почв (табл. 1).

Изучение трансформации поверхности проводили в модельном эксперименте. Отобранные из поверхностного горизонта смешанные образцы рассматриваемых почв помещали в лотки прямоугольной формы размерам  $0.4 \times 0.6$  м высотой 7.5 см со сплошным дном и перфорированными боковыми стенками. Далее лотки помещали на горизонтальную поверхность и экспонировали под открытым небом с 7 июня по 5 октября 2017 г.

В целом, лето 2017 г. было нетипично холодным, с обильными ливневыми осадками. Наиболее дождливыми и холодными оказались два первых месяца лета.

В июне температура воздуха в Москве колебалась в диапазоне от  $+3$  до  $+26^\circ\text{C}$ . Среднемесячная температура составила  $14.4^\circ\text{C}$ , что на несколько градусов ниже климатической нормы ( $17^\circ\text{C}$ ). В течение месяца шли интенсивные ливневые дожди, при этом количество осадков практически в два раза превысило норму и составило 140 мм при среднемесячной норме 80 мм.

Схожая ситуация наблюдалась и в июле. Температура воздуха в Москве колебалась в диапазоне от  $+9$  (7 июля) до  $+31^\circ\text{C}$  (29 июля). Июль 2017 г. оказался одним из самых холодных за 1999–2018 гг.

**Таблица 1.** Результаты химических анализов исследуемых почв\*

Почва	рН		Гумус, %	Обменные основания (по Шолленбергеру), мг/кг			
	H <sub>2</sub> O	HCl		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Выщелоченный чернозем	5.93	4.65	5.14	146.41	11.19	0.14	4.14
Дерново-подзо- листая	5.96	5.19	3.02	54.47	3.95	0	4.39
Серая лесная	5.97	4.68	2.07	135.06	17.79	0.32	4

\*Анализы выполнены Испытательным лабораторным центром Почвенного института им. В.В. Докучаева.

Фактическая средняя температура была ниже среднемесячной нормы (19.2°C) и составила 17.9°C. Количество осадков составило 256.7 мм при месячной норме для июля в 85 мм. Наибольшее количество осадков выпало 3 и 31 июля (56 и 55 мм соответственно).

Температура воздуха в августе колебалась в диапазоне от +6 до +31°C. Средняя температура (18.8°C) оказалась выше среднемесячной нормы (17°C). Количество выпавших осадков составило 68 мм, что ниже климатической нормы для августа (82 мм). За август, сентябрь и октябрь выпало 213.8 мм осадков.

Информация о метеорологических условиях за период измерений была взята с ближайшей к месту экспонирования образцов метеостанции – Балчуг.

Изменение поверхности во времени фиксировали на широкоформатный фотоаппарат Nikon. За период экспонирования проведено девять съемок в следующие дни: 7 июня, 16 июня, 26 июня, 7 июля, 11 июля, 25 июля, 31 июля, 7 августа, 8 августа. Съемки проводили в полдень. Всего за период измерений через профиль экспонируемых образцов выпало 443.6 мм осадков.

Полученные фотоизображения анализировали в программе ILWIS Academic 3.3.

Поскольку съемку поверхности образцов проводили в разные дни при естественной освещенности, а интенсивность солнечного излучения при этом неодинакова, сначала калибровали яркость изображений поверхности, предварительно разложенных на красный, зеленый и синий каналы (RGB). Калибровочные коэффициенты рассчитывали относительно одного эталонного изображения для каждого канала на основе значений отражения в 40 точках, расположенных на поверхностях, наименее переменных с точки зрения отражательной способности.

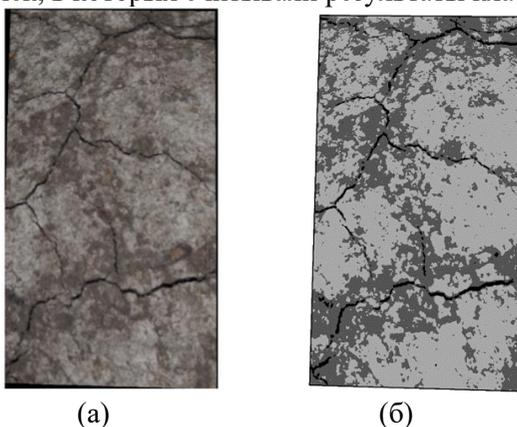
В связи с тем, что часть некоторых изображений была затенена во время съемки, дополнительно проводили обрезку изображения исследуемых почв по границам, подготовленным для каждого из трех образцов.

На основе откалиброванных и “обрезанных” каналов создавали RGB композиты, которые в дальнейшем разбивали на классы классификацией с обучением или без (кластеризация). Классификацию с обучением осуществляли на основе обучающих выборок в размере от 0.1 до 0.2% от общей площади для каждого класса (рис. 1).

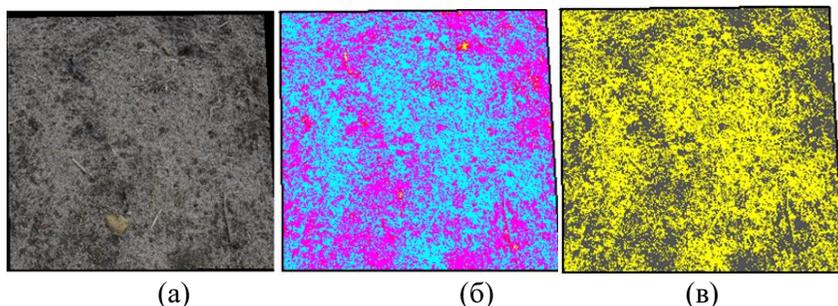
При кластеризации создавалось от 5 до 12 классов с дальнейшим объединением их в 2 или 3 основных кластера на основе визуального дешифрирования (рис. 2).

В результате классификации фотографий поверхности почвенных образцов были получены размеры площадей (в процентах), занимаемые каждым классом.

Для оценки точности классификации для каждой почвы было выбрано три изображения, на которых представлены все возможные классы. Далее случайным образом в пределах изображений выбирали 40 точек, в которых считывали результаты классификации.



**Рис. 1.** Пример классификации с обучением поверхности образца серой лесной почвы: исходное изображение (а); результат классификации (б).



**Рис. 2.** Пример классификации без обучения (кластеризация) поверхности дерново-подзолистой почвы: исходное изображение (а); результат классификации (5 кластеров) (б); результат объединения кластеров (2 класса) (в).

Полученные значения сравнивали с исходными изображениями и подсчитывали процент совпадений по каждому классу. Средняя точность для всех почв составила 90.7%.

Дополнительно к классификации фотографий провели оценку влияния трансформации поверхности на среднюю величину отражения в каналах RGB. Для этого в пределах изображения выбрали 5 площадок, для которых в ГИС считывали значения отражения по классам поверхности в откалиброванных каналах RGB за несколько сроков съемки, которые затем усредняли.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные за время модельного эксперимента наблюдения показали, что поверхность образцов серой лесной почвы и выщелоченного чернозема трансформировалась схожим образом.

Поверхность смешанного образца, помещенного в лоток, постепенно сглаживалась под воздействием ударной силы дождевых капель за счет разрушения поверхностных агрегатов (рис. 3а, 3б). Затем по мере подсыхания на поверхности формировалась корка, разделенная трещинами (рис. 3в).

Выпадение ливневых осадков приводило к запечатыванию трещин и выравниванию поверхности (рис. 3г). При последующем высыхании образца, цикл трансформации повторялся (рис. 3д).

Таким образом, в модельном эксперименте под воздействием ударной силы дождевых капель на смешанный образец пахотного горизонта серой лесной почвы и выщелоченного чернозема в процессе трансформации поверхности сформировалось два основных класса элементов: трещины и корка, что в общем подтверждает установленные ранее закономерности ([Савин, 1995](#); [Прудникова, 2013](#)). Последняя содержала в себе участки темного и светлого цвета. Светлые участки корки образованы отмытыми пылеватыми частицами, а более темные – уплотненным тонкодисперсным материалом с небольшим снижением содержания глины ([Eshel et al., 2004](#)).



**Рис. 3.** Циклы трансформации поверхности образца выщелоченного чернозема: а – насыпной образец, б – после прохождения первого дождя, в – трансформация поверхности при высыхании образца, г – сглаживание поверхности после прохождения новых осадков, д – новый цикл трансформации поверхности при высыхании.

Трансформация поверхности образца дерново-подзолистой почвы под воздействием осадков существенно отличалась от выщелоченного чернозема и серой лесной почвы (рис. 4). В частности, в процессе выпадения осадков наблюдалось накопление песчаных зерен и отмытых зерен минералов на поверхности образца (рис 4в, 4г), а формирования трещин не происходило.

Такая разница в циклах трансформации поверхности смешанных образцов выщелоченного чернозема, серой лесной и дерново-подзолистой почв обусловлена их разным гранулометрическим составом, который в данном случае определяет различие в механизме изменения структуры поверхности под воздействием ударной силы дождевых капель.

В то время как выпадение осадков вызывает на поверхности среднесуглинистых почв разрушение почвенных агрегатов и вымывание разрушенного отмытого материала в поры, на супесчаных почвах происходит “просеивание” тонкодисперсного материала внутрь почвенного профиля и отмывка минеральных зерен от гумусовых пленок, на поверхности при этом увеличивается концентрация песчаных зерен ([Bresson and Cadot, 1992](#); [Valentin and Bresson, 1992](#); [Bielders and Baveye, 1995](#)).

Проведенная классификация изображений поверхности показала, что, несмотря на схожую трансформацию поверхности образцов чернозема и серой лесной почвы, в характере изменения площадей классов присутствовали некоторые различия. В обоих случаях при небольшом количестве осадков или их отсутствии площадь трещин на поверхности образцов увеличивалась. Однако поверхность выщелоченного чернозема растрескивалась сильнее и быстрее, чем поверхность серой лесной почвы (рис. 5).

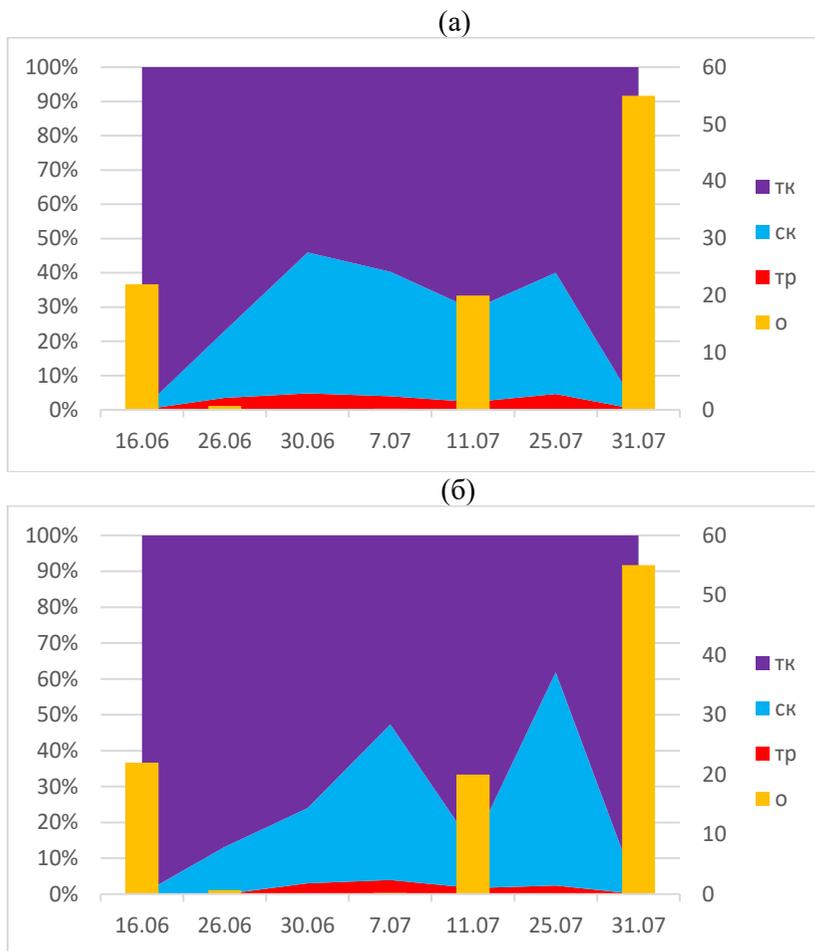
Что касается корки, то у рассматриваемых образцов по-разному менялось соотношение между ее темной и светлой частями. Площадь светлой части корки на поверхности серой лесной почвы увеличивалась в ходе экспонирования образца и достигла максимума (60%) в конце второго месяца наблюдений (рис. 5б).

В случае выщелоченного чернозема, после достижения максимума в первый месяц экспонирования (41%), к концу периода наблюдения площадь, занимаемая светлой частью, незначительно



**Рис. 4.** Циклы трансформации поверхности дерново-подзолистой почвы: а – насыпной образец, б – после первого дождя, в – сухая поверхность, г – после прохождения новых дождей.

снизилась (на 5%) (рис 5а). Подобная разница может быть обусловлена более высокой стабильностью почвенных агрегатов выщелоченного чернозема. Значительное уменьшение площади светлой части корки, регистрируемое на изображениях поверхности, в обоих случаях отмечалось после прохождения интенсивных осадков в пределах 3 суток перед съемкой.



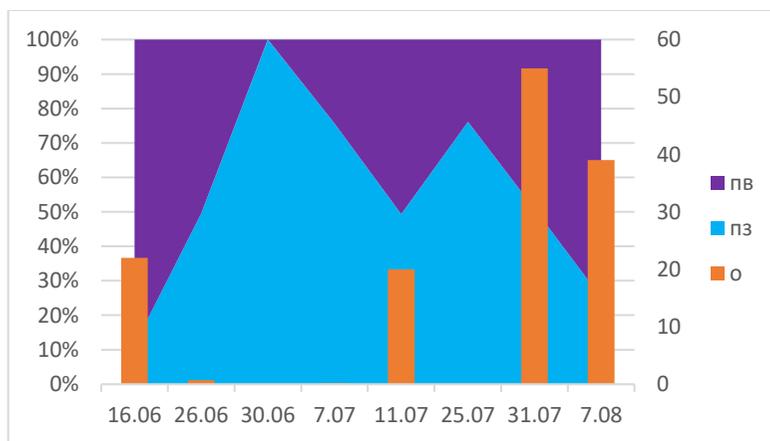
**Рис. 5.** Изменение площади классов поверхности выщелоченного чернозема (а) и серой лесной почвы (б) под воздействием осадков: тр – трещины; ск – светлая часть корки; тк – темная часть корки, о – сумма осадков (мм), выпавших в пределах 3 дней до измерения.

В случае дерново-подзолистой почвы наблюдалась цикличность в накоплении песчаных зерен на поверхности образца (рис. 6). Первый максимум (100%) был достигнут в конце первого месяца наблюдений, второй максимум (80%) – в конце второго. В

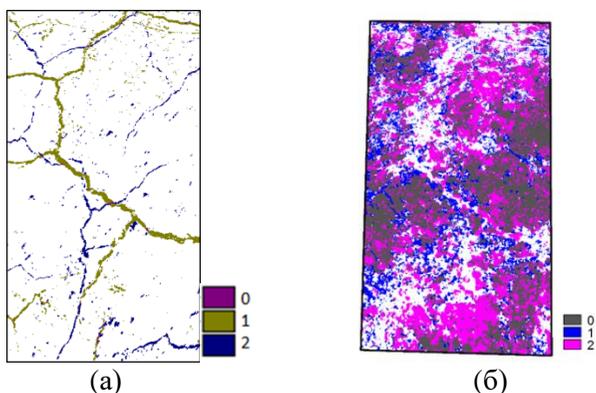
промежутке между ними процент песчаных зерен на поверхности снизился, что, могло быть связано с тем, что выпадение интенсивных ливневых осадков 3 июля (56 мм) привело к перемещению песчаного материала по поверхности образца к бортикам лотка. Дальнейшие осадки вызвали дополнительное просеивание тонкодисперсного материала вниз по профилю и перемещение песчаных зерен на поверхность.

Изменение площади поверхности, занимаемой различными классами, сопровождалось изменением их положения в пространстве. После выпадения сильных осадков, вызывающих запечатывание трещин (при их наличии), при дальнейшем высыхании произошло их перемещение (рис. 7а). Площадь светлой части корки по мере экспонирования образца увеличилась за счет ее центральной части, в то время как темные участки сместились к трещинам (рис. 7б).

Изменение площади и положения классов вызвало изменение спектрального отражения поверхности в каналах RGB (рис. 8). Для всех каналов произошло увеличение среднего отражения, которое



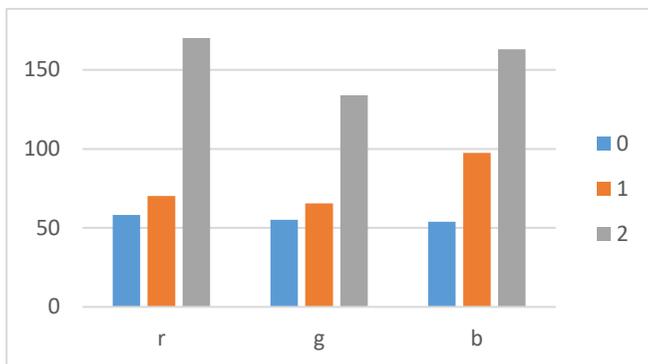
**Рис. 6.** Изменение площади классов поверхности дерново-подзолистой почвы под воздействием осадков: пз – песчаные зерна, пв – поверхность почвы, о – сумма осадков (мм), выпавших в пределах 3 дней до измерения.



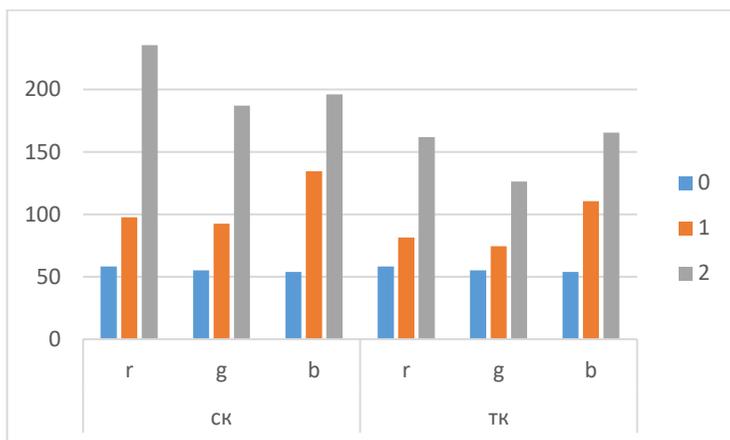
**Рис. 7.** Изменение положения трещин (а) и светлой части корки (б) на поверхности экспонируемого образца в разных циклах трансформации серой лесной почвы: 0 – участки, где положение классов в разных циклах совпало, 1 – положение класса в первом цикле, 2 – положение класса во втором цикле.

достигло максимума в конце второго месяца наблюдений. Это свидетельствует об общей тенденции осветления поверхностного слоя в процессе экспонирования. Также по сравнению с началом экспонирования возросла разница между средним отражением в разных каналах, что свидетельствует об усилении дифференциации поверхности.

Подобная тенденция сохранилась на уровне классов поверхности (рис. 9). При этом в разных циклах трансформации, влияние атмосферных осадков проявилось в разных каналах. После первого месяца экспонирования сильнее всего увеличилось отражение в синем канале. Дальнейшее воздействие атмосферных осадков привело к существенному увеличению отражения в красном канале. При этом в случае светлой части корки оно превысило отражение в синем и зеленом каналах. А в случае темной части корки оказалось на уровне отражения в синем канале. В целом, для светлой части корки характерно более интенсивное увеличение отражения во всех каналах по сравнению с темной частью корки.



**Рис. 8.** Изменение среднего отражения в каналах RGB в разные сроки съемки на примере образца серой лесной почвы (в относительных единицах) (0 – 7 июня (первый день экспонирования), 1 – 7 июля, 2 – 25 июля).



**Рис. 9.** Изменение среднего отражения в каналах RGB в разные сроки съемки для светлой (ск) и темной (тк) части корки на примере образца серой лесной почвы (в относительных единицах) (0 – 7 июня (первый день экспонирования), 1 – 7 июля, 2 – 25 июля).

Подобный характер изменения спектрального отражения подтверждает тот факт, что трансформация поверхности пахотных почв под воздействием ударной силы дождевых капель меняет ее спектральные свойства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Атмосферные осадки оказывают значительное влияние на формирование структуры почвенной поверхности, что приводит к ее дифференциации, характер которой определяется свойствами почвы. В ходе модельного эксперимента установлено, что образцы серой лесной почвы и выщелоченного чернозема трансформируются схожим образом, формируя два основных класса: трещины и корку разного цвета. При этом выщелоченный чернозем растрескивался сильнее и быстрее. Соотношение между темной и светлой частями корки в ходе экспонирования в его случае более стабильно. В то время как для образца серой лесной почвы отмечалось увеличение площади светлой части корки со временем, что может быть связано с более низкой стабильностью ее почвенных агрегатов и меньшим содержанием и стабильностью гумуса.

Механизм трансформации дерново-подзолистой почвы значительно отличался от двух остальных образцов в связи с большой разницей в гранулометрическом составе. Наблюдаемые процессы были связаны с изменением концентрации песчаных и отмытых минеральных зерен на поверхности образца.

Изменение площадей классов поверхности, формирующихся под воздействием дождевых капель, сопровождалось изменением их положения в пространстве. В частности, в ходе экспонирования увеличивалась площадь трещин, и менялось их положение. Кроме того, осветлялась центральная часть корки, а темные участки перемещались к трещинам.

Подобная трансформация сопровождалась увеличением среднего отражения в каналах RGB по сравнению с началом экспонирования и возрастанием разницы между отдельными каналами. При общей тенденции осветления поверхности больше всего оно затронуло светлую часть корки. В начале трансформации сильнее всего воздействие осадков повлияло на отражение в синем канале, в конце второго месяца наблюдений – в красном.

Установленные особенности изменения спектральных характеристик поверхности могут использоваться для определения стадии ее трансформации и учета этого фактора при дистанционной оценке свойств почв.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-016-00052/18.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прудникова Е.Ю. Автоматизированное картографирование почв по спутниковым данным для проектирования АЛСЗ (на примере тестовых полей в Саратовском Поволжье): Дис. ... канд. биол. наук. М., 2013. 237 с.
2. Савин И.Ю. Влияние ливневого дождя на интегральную отражательную способность поверхности черноземных почв // Почвоведение. 1995. № 8. С. 976-980.
3. Савин И.Ю. О тоне изображения открытой поверхности почв как прямом дешифровочном признаке // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. № 71. С. 52–64. <http://esoil.ru/bullet/Savin.pdf>
4. Савин И.Ю., Прудникова Е.Ю. Об оптимальном сроке спутниковой съемки для картографирования пахотных почв // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2014. № 74. С. 66-77. <https://yadi.sk/i/F9Vfe-zOfhjqs>
5. Assouline S. Rainfall-induced soil surface sealing // Soil Sci. 2004. V. 127. P. 134-139. doi: 10.2136/vzj2004.0570
6. Ben-Dor E., Goldshleger N., Benyamini Y., Agassi M.R., Blumberg D.G. The spectral reflectance properties of soil structural crusts in the 1.2-to 2.5- $\mu\text{m}$  spectral region // Soil Sci. Soc. Am. J. 2003. V. 67. № 1. P. 289-299. doi: 10.2136/sssaj2003.2890
7. Biielders C.L., Baveye P. Processes of structural crust formation on coarse-textured soils // European J. Soil Sci. 1995. V. 46. № 2. P. 221-232. doi: 10.1111/j.1365-2389.1995.tb01830.x
8. Bresson L.M., Boiffin J. Morphological characterization of soil crust development stages on an experimental field // Geoderma. 1990. V. 47. № 3-4. P. 301-325. doi: 10.1016/0016-7061(90)90035-8
9. Bresson L.M., Cadot L. Illuviation and structural crust formation on loamy temperate soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1992. V. 56. № 5. P. 1565-1570. doi: 10.2136/sssaj1992.03615995005600050038x
10. Chiang S.C., West L.T., Radcliffe D.E. Morphological properties of surface seals in Georgia soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1994. V. 58. № 3. P. 901-910. doi: 10.2136/sssaj1994.03615995005800030038x
11. Eshel G., Levy G. J., Singer M. J. Spectral reflectance properties of crusted soils under solar illumination // Soil Sci. Soc. Am. J. 2004. V. 68. № 6. P. 1982-1991. doi:10.2136/sssaj2004.1982
12. Goldshleger N., Ben-Dor E., Benyamini Y., Agassi M. Soil reflectance as a tool for assessing physical crust arrangement of four typical soils in Israel // Soil Sci. 2004. V. 169. № 10. P. 677-687. doi: 10.1097/01.ss.0000146024.61559.e2

13. *Le Bissonnais Y., Bruand A., Jamagne M.* Laboratory experimental study of soil crusting: Relation between aggregate breakdown mechanisms and crust structure // *Catena*. 1989. V. 16. № 4-5. P. 377-392. doi: 10.1016/0341-8162(89)90022-2
14. *McIntyre D.S.* Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact // *Soil Sci.* 1958. V. 85. № 4. P. 185-189.
15. *Mermut A.R., Luk S.H., Römkens M.J.M., Poesen J.W.A.* Micromorphological and mineralogical components of surface sealing in loess soils from different geographic regions // *Geoderma*. 1995. V. 66. № 1-2. P. 71-84. doi: 10.1016/0016-7061(94)00053-D
16. *Norton L.D.* Micromorphological study of surface seals developed under simulated rainfall // *Geoderma*. 1987. V. 40. № 1-2. P. 127-140. doi: 10.1016/0016-7061(87)90018-8
17. *Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu.* The effect of open soil surface patterns on soil detectability based on optical remote sensing data // *Proceedings in 2nd International Electronic Conference on Remote Sensing. Sciforum Electronic Conference Series*. 2018. V. 2. P. 1-8. <https://sciforum.net/manuscripts/5170/manuscript.pdf>
18. *Valentin C., Bresson L.M.* Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils // *Geoderma*. 1992. V. 55. № 3-4. P. 225-245. doi: 10.1016/0016-7061(92)90085-L

## TRANSFORMATION OF OPEN SOIL SURFACE UNDER THE IMPACT OF RAINFALL IN MODEL EXPERIMENT

**G. V. Vindeker<sup>1,2</sup>, E. Yu. Prudnikova<sup>1,3</sup>, I. Yu. Savin<sup>1,3,\*</sup>**

<sup>1</sup>*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,  
Russia, 119017, Moscow, Pizhevski per., 7, build. 2*

<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University,  
Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1*

<sup>3</sup>*Peoples' Friendship University of Russia,  
Russia, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6*

\* <https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: [savigory@gmail.com](mailto:savigory@gmail.com)

Received 11.09.2018, Revised 14.09.2018, Accepted 15.11. 2018

During the model experiment we exposed samples from surface layer of leached chernozem, grey forest and soddy-podzolic soils to study the impact of raindrop action on their surface. According to our results, surface of leached chernozem and grey forest soil transformed similarly forming the crust separated by the cracks. The crust consisted of light (washed silt fraction) and dark (compacted fine material) areas. As for the soddy-podzolic soil, we observed surface accumulation of sand and washed mineral grains. Surface image classification showed that cracks generally tended to increase in area during the surface

drying. However, leached chernozem cracked quicker and heavier compared to grey forest soil. In addition, the proportion between light and dark areas of the crust for these two types of soil changed differently as well. In conditions of different transformation cycles divided by heavy rainfalls, the changes of cracks position and the increase of light crust area was observed, while dark area moved to the cracks. Such spatial rearrangement resulted in the increase of average reflectance in RGB channels. The inequality between reflectance in different channels increased as well. During the experiment significant surface lightening occurred. It mainly affected the light area of crust and led to significant rise in reflectance in red channel.

*Keywords:* arable soils, rainfall, surface transformation

## REFERENCES

1. Prudnikova E.Yu. *Automated soil mapping with remote sensing data for the development of ALFS (by the example of test fields in Saratov Povolzhye)*, candidate's thesis, Moscow, Moskovskaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya imeni K.A. Timiryazeva Publ., 2013, 237 p. (in Russian)
2. Savin I.Yu. The influence of heavy rainfall on the integral surface reflectance of chernozem soils, *Pochvovedenie*, 1995, № 8, pp. 976–980. (in Russian)
3. Savin I.Yu. Open soil surface brightness as a direct sign for soil recognition on LANDSAT IMAGES, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2013, No. 71, pp. 52-64. <http://esoil.ru/bullet/Savin.pdf> (in Russian)
4. Savin I. Yu., Prudnikova E. Yu. About optimal dates of satellite images acquisition for arable soil mapping, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2014, No. 74, pp. 66-77. <https://yadi.sk/i/sL9ZF71pfhjq>
5. Assouline S. Rainfall-induced soil surface sealing: a critical review of observation of clay suspensions, *Soil Sci.*, 2004, V. 127, pp. 134-139. doi: 10.2136/vzj2004.0570
6. Ben-Dor E., Goldshleger, N., Benyamini, Y., Agassi, M. R., Blumberg, D. G. The spectral reflectance properties of soil structural crusts in the 1.2-to 2.5- $\mu$ m spectral region, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2003, V. 67, No. 1, pp. 289-299. doi: 10.2136/sssaj2003.2890
7. Bielders C. L., Baveye P. Processes of structural crust formation on coarse-textured soils, *European Journal of Soil Science*, 1995, V. 46, No. 2, pp. 221-232. doi:10.1111/j.1365-2389.1995.tb01830.x
8. Bresson L. M., Boiffin J. Morphological characterization of soil crust development stages on an experimental field, *Geoderma*, 1990, V. 47, No. 3-4, pp. 301-325. doi: 10.1016/0016-7061(90)90035-8
9. Bresson L.M., Cadot L. Illuviation and structural crust formation on loamy temperate soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1992, V. 56, No. 5, pp. 1565-1570. doi: 10.2136/sssaj1992.03615995005600050038x

10. Chiang S.C., West L.T., Radcliffe D.E. Morphological properties of surface seals in Georgia soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, V. 58, No. 3, pp. 901-910. doi: 10.2136/sssaj1994.03615995005800030038x
11. Eshel G., Levy G.J., Singer M.J. Spectral reflectance properties of crusted soils under solar illumination, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2004, V. 68, No. 6, pp. 1982-1991. (doi:10.2136/sssaj2004.1982)
12. Goldshleger N., Ben-Dor, E., Benyamini, Y., Agassi, M. Soil reflectance as a tool for assessing physical crust arrangement of four typical soils in Israel, *Soil Sci.*, 2004, V. 169, No. 10, pp. 677-687. doi: 10.1097/01.ss.0000146024.61559.e2
13. Le Bissonnais Y., Bruand A., Jamagne M. Laboratory experimental study of soil crusting: Relation between aggregate breakdown mechanisms and crust structure, *Catena*, 1989, V. 16, No. 4-5, pp. 377-392. doi: 10.1016/0341-8162(89)90022-2
14. McIntyre D.S. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact, *Soil Sci.*, 1958, V. 85, No. 4. pp. 185-189.
15. Mermut A. R., Luk S. H., Römkens M. J. M., Poesen J. W. A. Micromorphological and mineralogical components of surface sealing in loess soils from different geographic regions, *Geoderma*, 1995, V. 66, No. 1-2. pp. 71-84. doi: 10.1016/0016-7061(94)00053-D
16. Norton L.D. Micromorphological study of surface seals developed under simulated rainfall, *Geoderma*, 1987, V. 40, No. 1-2, pp. 127-140. doi: 10.1016/0016-7061(87)90018-8
- Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu. The effect of open soil surface patterns on soil detectability based on optical remote sensing data, *Proceedings in 2nd International Electronic Conference on Remote Sensing. Sciforum Electronic Conference Series*, 2018, V. 2, pp. 1-8. <https://sciforum.net/manuscripts/5170/manuscript.pdf>
17. Valentin C., Bresson L. M. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils, *Geoderma*, 1992, V. 55, No. 3-4, pp. 225-245. doi: 10.1016/0016-7061(92)90085-L

### **Ссылки для цитирования**

Виндекер Г. В., Прудникова Е. Ю., Савин И. Ю. Трансформация открытой поверхности почв под воздействием атмосферных осадков в модельном эксперименте // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 95. С. 23-40. doi: 10.19047/0136-1694-2018-95-23-40

### **For citation:**

Vindeker G.V., Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu. Transformation of open soil surface under the impact of rainfall in model experiment, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, V. 95, pp.23-40. doi:10.19047/0136-1694-2018-95-23-40