
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ СКЛОНОВОЙ ЭРОЗИИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ*

Б.У. Шафигуллин, П.Ю. Галицкая,
С.Ю. Селивановская

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, 18, Казань, Россия, 420008

Для оценки состояния почв, подверженных склоновой эрозии, предложен интегральный показатель, основанный на определении мощности гумусового горизонта, угла наклона, содержания органического вещества, уровня микробной биомассы и характеристик растительности. Показано, что его применение позволяет выявить различия в степени смытости почв с одинаковой мощностью гумусового горизонта, но расположенных на разных участках склона.

Ключевые слова: эрозия, деградация, биологические методы, гумус, плодородие, микробная биомасса.

Деградация почвы считается одной из глобальных экологических проблем, так как приводит к снижению плодородия почвы и потере устойчивости экосистем в целом. Оценка степени и скорости деградации остается нерешенной проблемой ввиду того, что почва имеет сложное поликомпонентное строение. Деградация может быть определена как функция нескольких независимых и (или) коррелирующих химических, физических и биологических характеристик, которые могут варьироваться в пространственных или временных шкалах.

Водная эрозия является одной из основных причин деградации почв. Большие потери органического вещества в результате эрозии способствуют резкому ухудшению агроэкологических функций почв: снижается их плодородие, уменьшаются запасы и доступность для растений и микроорганизмов элементов питания. Согласно обобщенным среднесреднегодным данным, запасы гумуса в пахотном слое средне- и сильносмытых почв уменьшились: для подзоны дерново-подзолистых почв на 39—52%, для зоны серых лесных почв на 34—54%, для подзоны типичных черноземов на 7—15%.

Одним из нормативных документов Российской Федерации, регламентирующих оценку степени деградированности почв, в том числе от водной эрозии, является Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель (1994). Согласно данной методике для оценки степени деградации используются индикаторные показатели, по которым установлены пороговые значения для определения потери природно-хозяйственной значимости земель. В частности, такими индикаторными показателями являются глубина промоин, уменьшение мощности почвенного профиля (A + B) в процентах (%) от исходного, уменьшение запасов гумуса в профиле почвы (A + B) — всего 30 показателей, один из кото-

*Поисковая научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 гг.

рых, а именно проективное покрытие пастбищной растительности, в процентах (%) от зонального является биологическим. В Методике указано, что установление степени деградации почв и земель возможно по любому из предложенных индикаторных показателей.

Для определения степени эродированности почв при проведении почвенных обследований принято использовать диагностические показатели, разработанные В.А. Носиным, Ю.В. Федориным и Т.А. Фриевым. Предложенная шкала используется при составлении паспорта почв и других видах исследования почв. Степень смытости (слабая, средняя, сильная) определяется по наличию в почвенном профиле не разрушенных эрозией генетических горизонтов почв. Например, к слабо-смытым относятся почвы, на которых смыто не более половины горизонта А.

В работах зарубежных авторов указывается на необходимость одновременного использования нескольких характеристик для оценки состояния почв. При такой оценке значительно повышается качество исследований, так как оценивается сразу несколько функций почвенных экосистем, например, урожайность, активность микроорганизмов, способность удерживать влагу, емкость катионного обмена. Характеристики могут быть разделены на группы: традиционные физические, орографические, климатические, химические, а также биологические и биохимические. В частности, для определения деградированности почв рекомендуется применять показатели микробной биомассы и дыхания, а также связанный с ними метаболический коэффициент и дегидрогеназную активность. Вопрос о математической обработке результатов при использовании нескольких характеристик также широко обсуждается. Многие авторы выбирают оцениваемые характеристики исходя из особенностей региона, а затем получают интегральный показатель, считая характеристики равнозначными.

Целью данной работы является оценка состояния почв, подверженных склоновой эрозии, с использованием интегрального показателя.

Методы и материалы. Объектом исследования служили почвенные образцы, отобранные на четырех склонах, не используемых под пашни, расположенных в радиусе 100 км от г. Казани. На каждом из склонов было выбрано по 4—8 точек, характеризующих участки склона (рис. 1). Каждая точка исследования представляла собой площадку 1 × 1 м.

Определение мощности гумусового горизонта проводилось по почвенному разрезу. Глубина разреза составляла не менее 60 см. Степень смытости почв определяли согласно ГОСТ 17.5.3.06-85.

Определение угла наклона и последующее построение поперечного профиля склона проводилось с использованием эклиметра SUUNTO SS001380011.

Описание растительного покрова проводилось согласно методике, предложенной Zhongming с соавторами. Растения делили на ярусы в зависимости от высоты: к первому ярусу относили растения до 10 см, ко второму — 10—40 см, к третьему — более 40 см. Определение видовой принадлежности наиболее массово представленных видов проводили с использованием определителя Губанова с соавторами (2004).

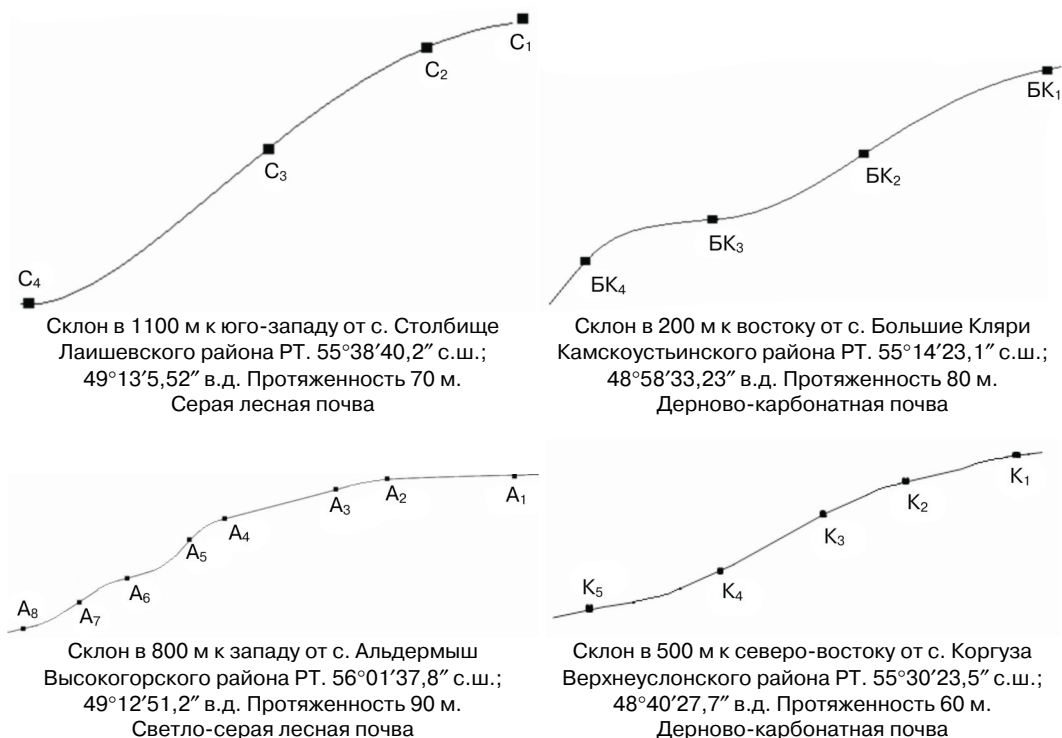


Рис. 1. Характеристика исследуемых склонов

Отбор проб для определения содержания органического углерода и микробной биомассы производился согласно ГОСТ 28168-89 буром на глубину 20 см.

Содержание органического углерода определяли методом Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91).

Уровень микробной биомассы определяли путем пересчета скорости субстрат-индуцированного дыхания согласно методике, предложенной Anderson и Domsch (1978) [23].

Все измерения проводили не менее чем в пяти повторениях. Рассчитывали значения среднего и стандартного отклонения. Достоверность различий определяли с использованием коэффициента Стьюдента ($p = 0,95$).

Результаты и обсуждение. На первом этапе нами были определены мощность гумусового горизонта и степень смывости почв согласно ГОСТ 17.5.3.06-85 и Методике определения размеров ущерба от деградации почв и земель. Максимальная мощность гумусового горизонта на склоне I была отмечена в точке С₁, на склоне II — в точке БК₃, на склоне III — в точке А₁, на склоне IV — в точке К₂ и составила 21, 20, 24 и 31 см соответственно. Почвы точек А₇, А₈ были отнесены к категории слабосмытых, С₂, БК₄, А₂, А₃, К₅ — среднесмытых, С₃, С₄, К₃ — сильносмытых.

Обращают на себя внимание точки С₃, С₄ и А₂, А₄, А₆, имеющие одинаковую мощность гумусового горизонта и на основании потерь гумусового горизонта отнесенные к одинаковым категориям смывости. При одинаковом снижении мощ-

ности горизонтов А + В эти точки значительно различались между собой по прочим показателям деградированности: так, в точке С₃ наблюдались микропромойны, растительность практически отсутствовала, в отличие от точки С₄. Различия в этих характеристиках не позволили сделать однозначных выводов о степени эродированности и эрозионном риске обследованных склонов. Поэтому на следующих этапах нами были получены дополнительные данные.

Поскольку основным фактором, влияющим на интенсивность склоновой эрозии, является крутизна склона, на следующем этапе нами были определены углы наклона поперечного профиля склона в исследуемых точках. Результаты представлены в табл. 1. Наибольший уклон был отмечен в точках С₃, БК₄, А₅, А₇ и К₃. Отсутствие уклона наблюдалось в точках С₁, С₄, БК₃, А₁ и А₂. Точки С₃ и С₄ и А₆, А₄ и А₂ с одинаковой мощностью гумусового горизонта значительно различались по углу наклона. Вероятно, этим и обуславливались различия в растительном покрове и характере промойн.

Таблица 1

Угол наклона и мощность гумусового горизонта на исследуемых точках

Наименование пробы	Мощность гумусового горизонта, см	Угол наклона, °	Уровень деградации
С ₁	21	0	0
С ₂	13	15	2
С ₃	10	25	3
С ₄	10	0	3
БК ₁	11	3	0
БК ₂	15	12	0
БК ₃	20	0	0
БК ₄	7	37	2
А ₁	24	1	0
А ₂	12	1	2
А ₃	17	13	2
А ₄	12	13	2
А ₅	7	45	4
А ₆	12	12	2
А ₇	18	32	1
А ₈	21	11	1
К ₁	20	7	0
К ₂	31	13	0
К ₃	7	29	3
К ₄	5	24	4
К ₅	13	9	2

Результатом склоновой эрозии является прежде всего потеря органического вещества почвы, которое является основным источником питания для растений и микроорганизмов, а также влияет на способность почвенных частиц к агрегации, потенциал пропускать воду и воздух и предотвращать растрескивание. Поэтому

на следующем этапе нами было определено содержание органического углерода ($C_{орг}$) в исследуемых точках (рис. 2). Установлено, что почвы исследуемых склонов в точках с максимальной мощностью гумусового горизонта (C_1 , BK_3 , A_1 и K_2) близки по содержанию $C_{орг}$. Обнаружены достоверные различия между значениями $C_{орг}$ в точках C_3 и C_4 . Так, в точке C_4 указанное значение оказалось в 2,2 раза ниже, чем в точке C_3 . Различия между значениями $C_{орг}$ в точках A_2 , A_4 и A_6 оказались не столь существенными — соотношение $C_{орг}$ в данных образцах составило 1,2 : 1 : 1,2.

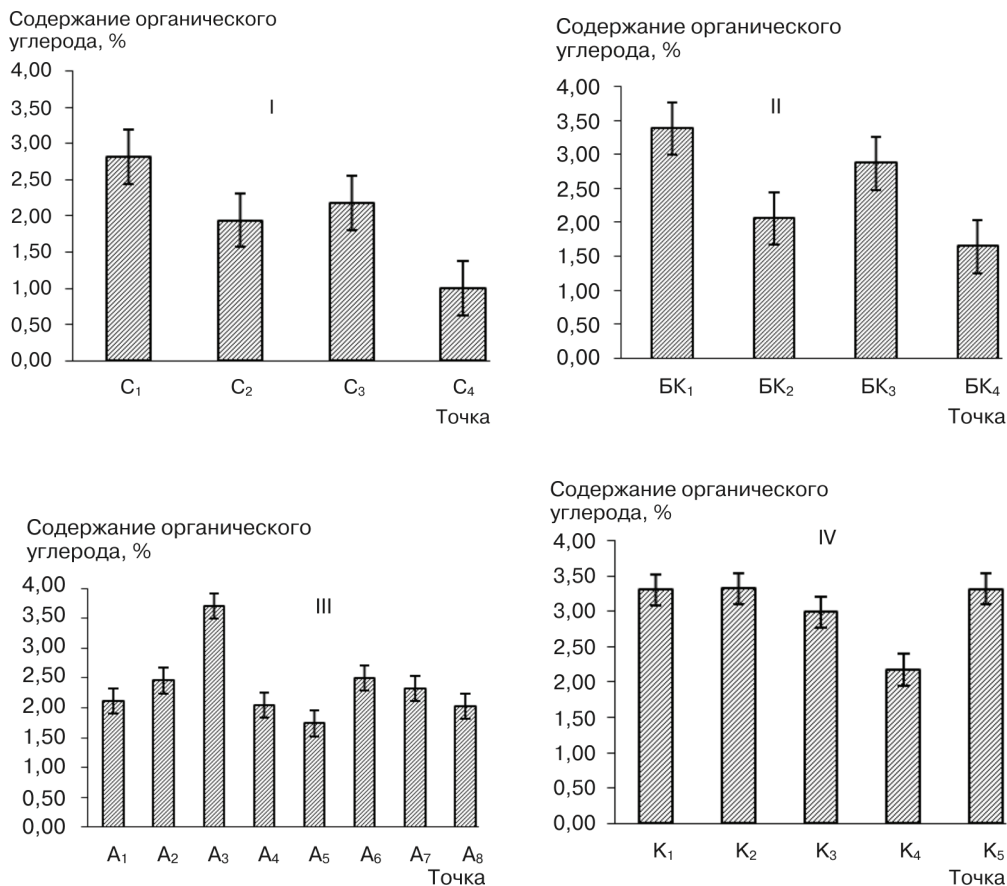


Рис. 2. Содержание $C_{орг}$ в исследуемых образцах на склонах I, II, III и IV.

В последнее время широкое распространение для оценки состояния почв получили биологические методы. На основе анализа данных литературы нами были выбраны следующие биологические параметры: 1) микробная биомасса, способная быстро реагировать на изменения состояния почвы; 2) характеристика растительного покрова. Растения, с одной стороны, являются индикаторами состояния почв и реагируют на потерю почвенного плодородия. С другой стороны, их корневая система способна удерживать верхний слой почвы и предотвращать эрозию. В качестве индикатора эродированности почвы чаще всего предлагается

использовать такой показатель как площадь проективного покрытия. Однако ряд исследователей считает более показательным не обилие, а тип и структуру растительного покрова: большая ярусность растений отмечается на почвах с меньшей степенью смывости.

При оценке уровня микробной биомассы было установлено следующее (рис. 3). Значения параметра колебались от 166 до 532, от 391 до 573, от 430 до 823 и от 505 до 675 мг С_{мик}/кг для I, II, III и IV склонов соответственно. Почвы в точках С₃ и С₄, как и в случае С_{орг}, существенно отличались по уровню микробной биомассы, при этом в данном случае большее значение параметра наблюдалось в точке С₄. Из точек А₂, А₄ и А₆ наименьшим уровнем микробной биомассы характеризовалась первая. Соотношение С_{мик} в данных образцах составило 1 : 1,5 : 1,3.

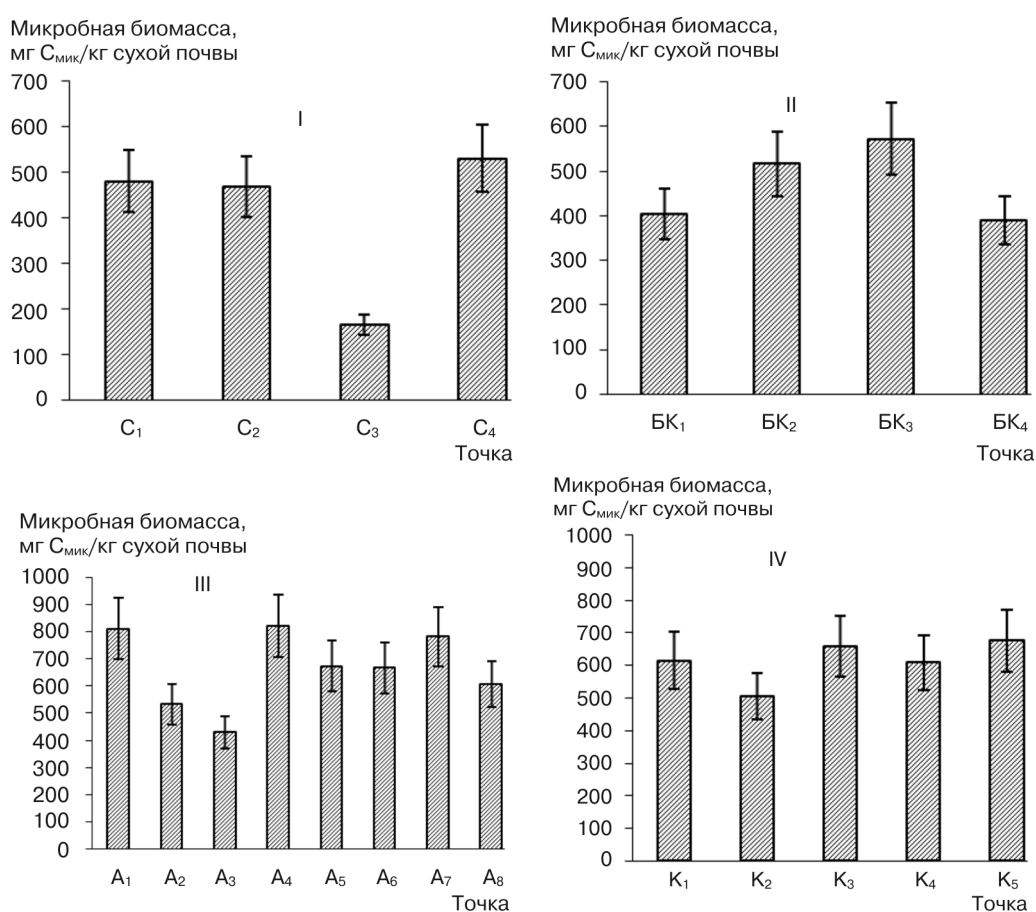


Рис. 3. Уровень микробной биомассы в исследуемых образцах на склонах I, II, III и IV

При оценке структуры растительного покрова применяли балльную систему (табл. 2). При обнаружении растений, принадлежащих к одному ярусу, точке присваивался 1 балл. При обнаружении растений, принадлежащих двум разным ярусам — 2 балла. Максимальное количество выделенных ярусов составило 3. К первому нижнему ярусу относили растения высотой до 10 см, например, клевер пол-

зучий (*Trifolium repens*), землянику зеленую (*Fragaria viridis*), ко второму — растения от 10 до 40 см, например, клевер луговой (*Trifolium pratense*), цикорий приземистый (*Cichorium pumilum*), нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare*) и некоторые злаковые. К третьему ярусу относили борщевик рассеченный (*Heracleum dissectum*) и злаки высотой более 40 см (как правило, род *Bromus*).

Установлено, что на склоне I имелась точка с полным отсутствием растительности (С₃). В точке С₄, мощность гумусового горизонта в которой равна таковой в точке С₃, наблюдались растения первого яруса. Наиболее разнообразная растительность была отмечена на склоне III. На этом склоне выявлена лишь одна точка с 1 баллом (А₆) и две точки с 3 баллами. Точки А₄ и А₂ получили 2 балла.

Таблица 2

Состояние растительного покрова на исследуемых точках

Наименование точки отбора проб	Состояние растительного покрова, балл	Наименование точки отбора проб	Состояние растительного покрова, балл	
С ₁	2	А ₁	2	
		А ₂	2	
		А ₃	2	
		А ₄	2	
С ₂	1	А ₅	3	
С ₃	0	А ₆	1	
		А ₇	2	
С ₄	1	А ₈	3	
БК ₁	1	К ₁	1	
БК ₂	2		К ₂	2
			К ₃	1
БК ₃	2		К ₄	1
БК ₄	1		К ₅	2

По нашему мнению, при оценке эродированности почвы целесообразно использовать интегральный показатель, учитывающий мощность гумусового горизонта, угол наклона, содержание органического вещества, уровень микробной биомассы и характеристику растительности. Для того, чтобы использовать все указанные параметры в интегральном показателе, их значения были переведены в одноразмерные единицы. С этой целью нами были рассчитаны значения каждого из параметров в процентах от максимального значения, отмеченного на каждом склоне (табл. 3). Принимали, что большей деградации почв соответствовало меньшее процентное значение мощности гумусового горизонта, микробной биомассы, содержания органического углерода и растительности. Для параметра «угол наклона» полученное значение было вычтено из 100%, так как в отличие от других четырех его увеличение является негативным, т.е. способствует интенсификации процесса эрозии. Интегральный показатель представлял собой сумму полученных значений.

Таблица 3

Оценка эродированности почв по интегральному показателю (%)

Точка отбора	Угол наклона	Мощность гумусового горизонта	Микробная биомасса	Содержание органического углерода	Растительность	Интегральный показатель
C ₁	2	100	90	100	67	457
C ₂	40	62	88	68	33	291
C ₃	0	48	31	79	0	157
C ₄	100	48	100	36	33	317
БК ₁	92	55	71	100	33	351
БК ₂	68	75	90	62	67	361
БК ₃	100	100	100	85	67	425
БК ₄	0	35	68	49	33	185
A ₁	99	100	100	57	67	421
A ₂	99	50	65	68	67	348
A ₃	71	69	52	100	67	359
A ₄	71	50	100	57	67	345
A ₅	0	29	82	46	100	257
A ₆	73	54	81	68	33	310
A ₇	29	75	95	62	67	328
A ₈	76	88	74	54	100	391
K ₁	76	65	91	100	50	381
K ₂	55	100	75	100	100	430
K ₃	0	23	97	88	50	258
K ₄	17	16	90	67	50	240
K ₅	69	42	100	100	100	411

Из таблицы 3 видно, что точки, характеризовавшиеся одинаковой мощностью гумусового горизонта (C₃ и C₄; A₆, A₄ и A₂), имеют разные значения интегрального показателя. Так, в точке C₄ его значение в 2 раза превышает таковое в точке C₃. В точках A₂, A₄ и A₆ значения интегрального показателя различаются незначительно. Вероятно, это связано с характером растительности в данных точках, которая даже при наличии уклона удерживает верхний слой почвы. В целом, на целесообразность использования интегральных показателей, основанных на оценке нескольких почвенных параметров, указывают и зарубежные авторы [33].

Предлагаемый индекс может быть использован и для характеристики почв с разной мощностью гумусового горизонта. Так, нами был рассчитан коэффициент корреляции между значениями мощности гумусового горизонта (%) и интегрального показателя для всех точек, за исключением C₃, C₄, A₂, A₄ и A₆. Он составил 0,84% по всем склонам в совокупности и колебался от 0,84 до 1,0% по отдельным склонам. Это говорит об отсутствии противоречия между традиционно используемым и предлагаемым интегральным показателем. Преимущество предлагаемого интегрального показателя заключается в возможности дифференцировать по степени эродированности почвы с одинаковой мощностью гумусового горизонта, расположенные на разных участках склона.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Артемьева З.С.* Органические и органо-глинистые комплексы агрогенно-деградированных почв: автореферат / Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН. 2008.
- [2] *Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н.* Иллюстрированный определитель растений Средней России // КМК, Институт технологических исследований, 2004. — Т. 3.
- [3] Письмо Роскомзема от 29.07.1994 «О Методике определения размеров ущерба от деградации почв и земель».
- [4] *Носин В.А., Федорин Ю.В., Фриев Т.А.* Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований // Колос, 1973.
- [5] ГОСТ 17.5.3.06-85 «Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ».
- [6] ГОСТ 17.4.2.03-86 «Охрана природы. Почвы. Паспорт почв».
- [7] ГОСТ 26213-91 «Почвы. Методы определения органического вещества».
- [8] *Anderson J., Domsch K.* A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // *Soil Biology and Biochemistry*. — 1978. — V. 10. — P. 215—221.
- [9] *Andrews S., Karlen D., Mitchell J.* A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. — 2002. — V. 90. — P. 25—45.
- [10] *Arshad M., Martin S.* Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. — 2002. — V. 88. — P. 153—160.
- [11] *Bastida F., Moreno J., Hernández T., García C.* Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate // *Soil Biology and Biochemistry*. — 2006. — V. 38. — P. 3463—3473.
- [12] *Bastida F., Zsolnay A., Hernandez T., Garcia C.* Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective // *Geoderma*. — 2008. — V. 147. — P. 159—171.
- [13] *Berthelot Y., Trottier B., Robidoux P.Y.* Assessment of soil quality using bioaccessibility-based models and a biomarker index // *Environmental International*. — 2009. — V. 35. — P. 83—90.
- [14] *Chikhaoui M., Bonn F., Bokoye A., Merzouk A.* A spectral index for land degradation mapping using ASTER data: Application to a semi-arid Mediterranean catchment // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. — 2005. — V. 7. — P. 140—153.
- [15] *De Asis A.M., Omasa K.* Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. — 2007. — V. 62. — Iss. 4. — P. 309—324.
- [16] *De Paz J., Sanchez J., Visconti F.* Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region // *Journal of Environmental Management*. — 2006. — V. 79. — P. 150—162.
- [17] *Diodato N., Ceccarelli M.* Multivariate indicator Kriging approach using a GIS to classify soil degradation for Mediterranean agricultural lands // *Ecological Indicators*. — 2004. — V. 4. — P. 177—187.
- [18] *Glover J., Reganold J., Andrews P.* Systematic method for rating soil quality of conventional, organic and integrated apple orchards in Washington State // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. — 2000. — V. 80. — P. 29—45.
- [19] *Gomez J., Alvarez S., Soriano M.* Development of a soil degradation assessment tool for organic olive groves in southern Spain // *Catena*. — 2009. — V. 79. — P. 9—17.
- [20] *Kirkby M., Bissonais Y., Coulthard T., Daroussin J., McMahon M.* The development of land quality indicators for soil degradation by water erosion // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. — 2000. — V. 81. — P. 125—135.
- [21] *Lemenih M., Karlun E., Olsson M.* Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in smallholders farming system in Ethiopia // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. — 2005. — V. 105. — P. 375—386.

- [22] Liao M., Xiao X. Effect of heavy metals on substrate utilization pattern, biomass, and activity of microbial communities in a reclaimed mining wasteland of red soil area // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* — 2007. — V. 66. — P. 21—223.
- [23] Masto R., Chhonkar P., Singh D., Patra A. Soil quality response to long-term nutrient and crop management on a semi-arid Inceptisol // *Agriculture, Ecosystems and Environment.* — 2007. — V. 18. — P. 130—142.
- [24] Puglisi E., Del Re A., Rao M., Gianfreda L. Development and validation of numerical indices integrating enzyme activities of soils // *Soil. Biol. Biochem.* — 2006. — V. 38. — P. 1673—1681.
- [25] Ros M., Hernandez M., Garcia C. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments // *Soil Biology and Biochemistry.* — 2003. — V. 35. — P. 463—469.
- [26] Sánchez-Monedero M., Mondini C., de Nobilic M., Leitab L., Roiga A. Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter // *Waste Management.* — 2004. — V. 24. — P. 325—332.
- [27] Selivanovskaya S.Yu., Latypova V.Z. Effects of composted sewage sludge on microbial biomass, activity and pine seedlings in nursery forest // *Waste Management.* — 2006. — V. 26. — P. 1253—1258.
- [28] Sharma P., Tripathi R., Singha S. Tillage effects on soil physical properties and performance of rice-wheat-cropping system under shallow water table conditions of Tarai, Northern India // *European Journal of Agronomy.* — 2005. — V. 23. — P. 327—335.
- [29] Suhadolc M., Schroll R., Gattinger A., Schloterb M., Munch J., Lestana D. Effects of modified Pb-, Zn-, and Cd-availability on the microbial communities and on the degradation of isotoproturon in a heavy metal contaminated soil // *Soil Biology and Biochemistry.* — 2004. — V. 36. — P. 1943—1954.
- [30] Vrieling A., de Jong S.M., Sterk G., Rodrigues S.C. Timing of erosion and satellite data: a multi-resolution approach to soil erosion risk mapping // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* — 2008. — V. 10. — Iss. 3. — P. 267—281.
- [31] Wang G., Wentz S., Gertner G.Z., Anderson A. Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geostatistical methods with Landsat Thematic Mapper images // *International Journal of Remote Sensing.* — 2002. — V. 23. — Iss. 18. — P. 3649—3667.
- [32] Zhongming W., Lees B., Feng J., Wanning L., Haijing Sh. Stratified vegetation cover index: A new way to assess vegetation impact on soil erosion // *Catena.* — 2010. — V. 82. — P. 87—93.
- [33] Zhou P., Luukkanen O., Tokola T., Nieminen J. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed // *Catena.* — 2008. — Vol. 75. — Iss. 3. — P. 319—325.

ESTIMATION OF QUALITY OF SOIL DEGRADATED BY WATER EROSION USING INTEGRAL INDICATOR

B.U. Shafigullin, P.Yu. Galitskaya,
S.Yu. Selivanovskaya

Kazan (Volga Region) Federal University
Kremlyevskaya str., 18, Kazan, Russia, 420008

For estimation of quality of soil, degraded by water erosion, the integral indicator based on assessment of humus layer thickness, slope angle, soil organic matter content, microbial biomass and plants characteristics is suggested. The use of this indicator permits to reveal the differences in erosion level of soils which have the equal thickness of humus layer but are situated on different parts of slope.

Key words: erosion, degradation, biological methods, humus, fertility, microbial biomass.