

УДК 911.2: 631.459.2:551.583

А. А. Светличный, доктор геогр. наук, профессор
Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,
кафедра физической географии и природопользования
Шампанский пер, 2, Одесса, 65058, Украина
svetlitchnyi.aa.od@gmail.com

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЛИВНЕВОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ В СТЕПИ И ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА

Представлены разработка методики и результаты оценки изменения гидрометеорологических условий ливневого смыва почвы по четырем регионам в пределах Степи и Лесостепи Украины в связи с прогнозируемыми изменениями климата на 2031-2050 гг. В качестве комплексного показателя гидрометеорологических условий ливневого смыва почвы использована современная версия гидрометеорологического фактора ливневого смыва, среднемноголетнее значение которого является составной частью физико-статистической модели смыва-аккумуляции почвы, разработанной в ОНУ им. И. И. Мечникова.

Ключевые слова: Степь и Лесостепь Украины, ливневая эрозия почвы, гидрометеорологические условия, изменения климата, 2031-2050 гг.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия на территории Украины, так же как и на планете в целом, происходят существенные изменения климата. С середины-конца 70-х годов прошлого столетия отмечается устойчивый рост температур приземного воздуха. Скорость изменения средней, минимальной и максимальной за год температуры составила 0,3-0,5° C/10 лет [3, 20]. В связи с общим потеплением увеличилась продолжительность теплого периода. Так в 1991-2005 гг. продолжительность периода со среднесуточной температурой выше 0° C, относительно базового климатического периода 1961-1990 гг. на юге Степи увеличилась на 12 дней, в лесостепи – на 15-18 дней, в Полесье – на 40 дней [16].

Произошли изменения и в количестве и режиме выпадения атмосферных осадков, хотя здесь ситуация не так однозначна, как с температурой воздуха, поскольку эти изменения дифференцированы в пространстве и времени. На фоне в среднем незначительного (на 3-5 %:) увеличения количества атмосферных осадков, с одной стороны, отмечается выравнивание климатического поля атмосферных осадков в пределах территории Украины, с другой стороны, – имеет место перераспределение осадков внутри года. При этом изменяется структура атмосферных осадков в сторону увеличения повторяемости их ливневой составляющей [16, 3, 20, 15, 22].

Изменения климата неизбежно влияют на протекание процессов в других компонентах географической оболочки, в том числе изменяют гидрометеорологические условия водной эрозии почв – наиболее распространенного в Украине почвенного деградиационного процесса, негативные последствия которого затрагивают практически все компоненты ландшафтов, нанося огромный экономический и экологический ущерб. По данным [13] в Украине эродировано 16 млн. га сельскохозяйственных угодий (38,4% их площади), в том числе – 12,9 млн.га пахотных земель (39,9% площади). В Степи эродировано 54,4 % сельхозугодий, в лесостепи – 27,5 %. По отдельным административным областям, частично или полностью расположенным на севере степной и/или юге лесостепной зон в так называемом «поясе максимальной эрозии» [11, 25], эродированные земли составляют 60 % и более площади сельхозугодий [13]. При этом, площадь в различной степени разрушенных эрозией земель продолжает увеличиваться.

Задача прогноза изменения интенсивности водной эрозии почв и, соответственно, изменения темпов эрозионной деградации земель в связи с изменениями климата была поставлена еще в 90-е годы XX столетия [27-30]. Однако решение задачи на количественном уровне стало возможным только с разработкой количественных сценариев климатических изменений, выполненных Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) Всемирной метеорологической организации (ВМО) в 4-м Оценочном отчете (AR4) в 2007 г. и уточненном в 5-м Оценочном отчете (AR5) в 2013-2014 гг. Для территории Украины такой прогноз был разработан в рамках подготовки Шестого национального сообщения Украины по вопросам изменения климата [15] в 2012 г. Этот прогноз содержит сценарии («проекции») изменения среднемесячной и среднегодовой температуры приземного воздуха, атмосферных осадков и влажности воздуха на 2011-2030, 2031-2050 и 2081-2100 годы.

Учитывая, что на территории наиболее эрозионноопасных степной и лесостепной зон преобладает ливневая эрозия почв, роль которой в связи с прогнозируемым дальнейшим потеплением климата будет еще больше возрастать, наибольший практический интерес представляет оценка изменения гидрометеорологических условий именно ливневой эрозии почв. При этом наиболее актуальным решением этой задачи является для территории Степи и Лесостепи Украины.

Наиболее информативной моделью гидрометеорологических условий ливневой эрозии, хорошо теоретически обоснованной и апробированной для Степи и Лесостепи Украины, является так называемый «гидрометеорологический фактор ливневого смыва почвы» [25, 26, 24, 21], среднемноголетнее значение (норма) которого ($K_{ГМ}$) является составной частью физико-статистической модели ливневого смыва-аккумуляции почвы [21, 18]. Однако месячная временная дискретность прогнозов (проекции) климатических показателей не дает возможности определить прогнозные значения нормы гидрометеорологичес-

кого фактора по разработанной для этой цели методике [26, 21], поскольку для этого необходимо располагать информацией о характеристиках ливневой деятельности по значительно более коротким, фактически минутным, интервалам. То есть необходима разработка методики количественной оценки $K_{ГМ}$ на основе имеющейся месячной временной дискретизации прогноза климатических показателей.

В связи с изложенным, *целью* настоящей статьи является количественная оценка изменения гидрометеорологических условий ливневого смыва почвы в пределах Степи и Лесостепи Украины на среднесрочную перспективу (на 2031-2050 гг.). При этом одной из задач исследования, обеспечивающей достижение цели, является разработка методики определения нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы на основе метеорологической информации, агрегированной по месячным интервалами времени. *Объектом* исследования является гидрометеорологические условия ливневой эрозии почв, *предметом* – изменение этих условий в связи с изменениями климата в среднесрочной перспективе в пределах Степи и Лесостепи Украины.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу оценки изменения гидрометеорологических условий ливневого смыва почвы в пределах Степи и Лесостепи Украины положены прогнозные величины («проекции») месячных и годовых слоев атмосферных осадков, среднемесячных и среднегодовых температур и относительной влажности воздуха на 2031-2050 гг. по четырем регионам Украины – Юг, Центр, Запад и Восток (рис. 1), в пределах которых лежат Степь и Лесостепь, по наиболее вероятному (среднему) сценарию изменения климата А1В из 4-го Оценочного отчета МГЭИК, полученные на основе использования ансамблей региональных климатических моделей [15, 19]. Сценарий изменения климата А1В из 4-го Оценочного отчета МГЭИК, как известно, является несколько более «жестким» по степени антропогенного воздействия на атмосферу, чем сценарий RCP6.0 из 5-го Оценочного отчета. Важно подчеркнуть, что проекции изменения среднемесячных и среднегодовых температур, относительной влажности воздуха и среднемесячных и среднегодовых сумм атмосферных осадков на 2031-2050 гг. в [15, 19] даны по сравнению с периодом 1991-2010 гг.

Оценка изменения гидрометеорологических условий ливневого смыва выполнена на основе гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы, среднегодовое значение (норма) которого ($K_{ГМ}$) является параметром физико-статистической модели смыва-аккумуляции почвы, разработанной в Одесском национальном университете имени И. И. Мечникова [25, 21 и др.].

Теоретическое обоснование гидрометеорологического фактора ливневого смыва дано Г. И. Швобсом [25]. Гидрометеорологический фактор в явном виде учитывает характеристики смывообразующих дождей – изменяющиеся во вре-



Рис. 1. Распределение территории Украины на регионы [15, 19]

мени интенсивности выпадения, график дождя, слой осадков за дождь, а также инфильтрационную способность почвы, определяющую потери дождевых вод на впитывание в почву, причем в зависимости от уровня предшествующей выпадению смывообразующего дождя влажности верхнего слоя почвы. Именно с учетом влияния предшествующей дождю влажности верхнего слоя почвы на интенсивность водной эрозии гидрометеорологический фактор выгодно отличается от других моделей наносообразования, в том числе и от эрозионного индекса осадков как параметра Универсального уравнения эрозионных потерь почвы США (USLE/RUSLE).

Среднегодовое значение (норма) гидрометеорологического фактора $K_{ГМР}$ которое используется в модели ливневого смыва-аккумуляции, представляет собой результат статистической обработки годовых сумм гидрометеорологического фактора ливневого смыва отдельных смывообразующих дождей. Современный вариант гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы для отдельного смывообразующего дождя $k_{ГМ}$ [26, 21] в несколько упрощенном виде можно записать в виде:

$$k_{ГМ} = \delta \sum_{i=1}^N (1 + 17,5 r_i) (r_i - r_{сми})^{2,7} \lambda^{2,7} \Delta t_i, \quad (1)$$

где r_i – интенсивность интервалов дождя, которые формируют сток воды и смыв почвы, т. е. для которых $r_i > r_{сми}$, мм/мин; $r_{сми}$ – смывообразующая интенсивность дождя, мм/мин; λ – коэффициент, учитывающий уменьшение тран-

спортирующей способности потока на спаде склонового стока, который для смывообразующих интервалов дождя принимается равным 1,0, а на спаде склонового стока – 0,33; N – количество интервалов дождя; δ – коэффициент пропорциональности (сборный параметр), величина которого установлена на основе данных наблюдений на стоковых площадках и равна $2,6 \cdot 10^{-6}$.

Смывообразующая интенсивность на начало k -го интервала дождя вычисляется по формуле

$$r_{см} = 0,08 + 5,92 \exp \left[-0,151 \left(B_0 + \sum_{i=1}^{k-1} r_i \Delta t_i \right) \right] \quad (2)$$

где B_0 – индекс предшествующего увлажнения Н. Ф. Бефани [4] на начало расчетного дождя, характеризующий содержание влаги в верхнем активном слое почвы; $\sum_{i=1}^{k-1} r_i \Delta t_i$ – слой осадков от начала дождя до начала расчетного интервала.

Принципиальная возможность оценки или прогноза нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва по месячным суммам осадков вытекает из наличия корреляционной зависимости даже между годовыми значениями гидрометеорологического фактора и годовыми суммами осадков, представленной, в частности, в [21]. Действительно, как следует из выражения (1), хотя наибольший вклад в величину $k_{ГМ}$ вносит наиболее интенсивная часть дождя, причем тем большую, чем больше интенсивность дождя, гидрометеорологический фактор ливневого смыва (и, следовательно, смыв почвы) будут тем больше, чем более продолжительной будет эта его часть и, соответственно, большим будет слой атмосферных осадков за дождь. При этом наиболее целесообразно искать зависимость между нормой гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы и суммой осадков не за год, а за период активной ливневой деятельности, то есть за месяцы с мая по сентябрь, совместный вклад которых в годовой ливневой смыв даже на юге Украины составляет не менее 96 % [24, 21].

Информационной основой работы послужили среднегодовые величины гидрометеорологического фактора ливневого смыва, определенные ранее [21] по данным наблюдений на 22-х метеорологических станциях, расположенных в степной и лесостепной зонах Украины с полным набором необходимых данных за период с 1949 г. по 1989 г., месячные температуры воздуха и суммы осадков по четырем-пяти «опорным» метеостанциям для каждого из четырех регионов, в пределах которых лежит Степь и Лесостепь Украины, с данными наблюдений за период с 1949 г. по 2010 г. с сайта [31], а также материалы Климатического кадастра Украины [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

График связи между среднегодовыми значениями гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы, рассчитанными ранее с использованием данных срочных наблюдений за атмосферными осадками, включая рас-

шифровки плювиограмм, на 22-х метеорологических станциях, расположенных в Степи и Лесостепи Украины, за период 1949-1989 гг. и средней за этот же период суммой осадков за май-сентябрь в логарифмических координатах представлен на рис. 2.

Коэффициент детерминации R^2 связи, представленной на рис. 2, равен 0,53, коэффициент корреляции R равен 0,73, что характеризует связь как «сильную» ($R > 0,7$). В практике гидрологических прогнозов [1] для оценки точности методики прогноза используется отношение S/σ , где S – среднее квадратическое отклонение эмпирических точек от установленной зависимости; σ – среднее квадратическое отклонение предсказываемой величины. Для связи между переменными, представленной на рис. 2, это отношение равно 0,66, что соответствует середине интервала оценки «хорошая» (0,51-0,80).

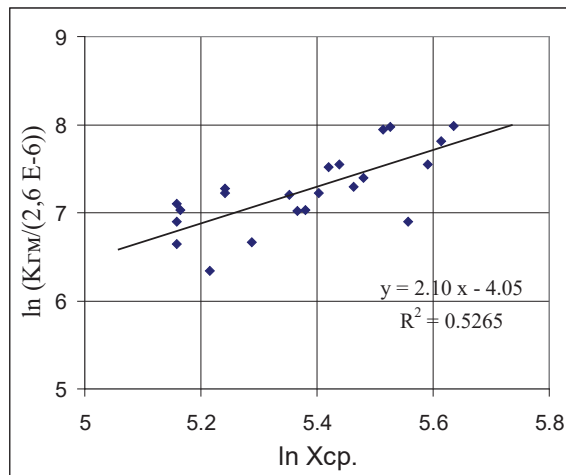


Рис. 2. График связи $\ln(K_{гм}/(2,6 \cdot 10^{-6})) = f(\ln(X_{cp}))$, где X_{cp} – средняя за рассматриваемый период сумма месячных слоев осадков за май-сентябрь

Аналитическое выражение зависимости между среднегодовым значением гидрометеорологического фактора ливневого смыва и среднегодовым суммой осадков за май-сентябрь (X_{cp}) имеет вид:

$$K_{гм}/(2,6 \cdot 10^{-6}) = 0,0174 X_{cp}^{2,1}; \quad (3)$$

Учитывая достаточно высокую оценку качества установленной корреляционной зависимости, используем выражение (3) для оценки изменения нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва на основе прогноза («проекции») изменения месячных сумм осадков в 2031-2050 гг. для сценария изменения климата А1В.

С учетом изменения среднего количества осадков мая-сентября за период 1991-2010 гг. по сравнению с базовым периодом 1949-1989 гг., для которого были рассчитаны нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва, отношение проецируемых на 2031-2050 гг. в соответствии с [15, 19] сумм осадков мая-сентября к соответствующим среднегодовым суммам осадков периода 1949-1989 гг., для Юга, Центра, Запада и Востока составляет, соответственно, 1,04, 1,10, 1,28 и 1,07. То есть по всем регионам к середине XXI столетия по сравнению с периодом 1949-1989 гг. ожидается увеличение суммы осадков мая-сентября – от незначительного (на 4-10 %) на юге, в центре и на востоке до существенного (на 28 %) на западе. При этом необходимо отметить, что рост летних осадков на юге, в центре и на западе Украины в значительной степени обусловлен вкладом 1991-2010 гг., в течение которых отмечено увеличение по отношению к периоду 1949-1989 гг. количества осадков мая-сентября на юге и в центре в среднем на 6%, на востоке – в среднем на 14%

В соответствии с (3), соотношение $K_{ГМ}$ двух рассматриваемых периодов определяется отношением сумм осадков мая-сентября этих периодов в степени 2,1. В таком случае для регионов Юг, Центр, Запад и Восток величина $K_{ГМ}$ для периода 2031-2050 гг. соотносится с величиной $K_{ГМ}$ для периода 1949-1989 гг. как 1,08, 1,22, 1,68 и 1,15, соответственно. То есть, исходя из проецируемого на 2031-2050 гг. изменения по сравнению с 1991-2010 гг. количества осадков мая-сентября по среднему наиболее вероятному сценарию А1В с учетом уже произошедшего увеличения осадков этого периода в течение 1991-2010 гг, к середине столетия по отношению к 1949-1989 гг. во всех четырех регионах ожидается увеличение нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва, хотя и существенно неодинаковое в разных регионах – на юге Украины на 9 %, в центре – на 22%, на западе – на 68%, на востоке – на 15%.

Остается невыясненным вопрос о влиянии на $K_{ГМ}$ изменения влажности верхнего слоя почвы в связи с уже произошедшими за 1990-2010 гг. и проецируемыми на 2031-2050 гг. по отношению к этому периоду изменениями климата. Если эти изменения повысят общую засушливость климата рассматриваемых территорий, вполне вероятно уменьшение $K_{ГМ}$ за счет снижения влажности верхнего активного слоя почвы и, соответственно, увеличения согласно (2) смывообразующей интенсивности.

Для ответа на поставленный вопрос, во-первых, оценим изменение общего увлажнения климата рассматриваемых территории, воспользовавшись коэффициентом увлажнения Высоцкого-Иванова, представляющим собой отношения годовых осадков (X) и годовой испаряемости (E_0):

$$K_{ув} = \frac{X}{E_0}; \quad (4)$$

Для территорий избыточного увлажнения $K_{ув} > 1$ (в умеренных широтах это – лесная зона). При $K_{ув}$, близком к 1,0, территория характеризуется оптимальным

увлажнением, что характерно для зоны широколиственных лесов. Для территорий неустойчивого увлажнения (лесостепи) $K_{yg}=1,0-0,6$, при недостаточном увлажнении (степи) $K_{yg}=0,6-0,3$ [6].

Основная проблема оценки коэффициента увлажнения (4) заключается в необходимости расчета испаряемости, поскольку измерения «потенциально возможного (не лимитированного запасами воды) испарения в данной местности при существующих в ней атмосферных условиях» [23] не производятся. В рамках данного исследования для оценки годовой испаряемости использована методика [9], в соответствии с которой для территории Русской равнины годовая испаряемость «зависит почти исключительно от средней июльской температуры с весьма высокими коэффициентами корреляции $R=0,94$ и детерминации $R^2=0,88$:

$$E_0 = 1384 - 161,6 t_{max} + 6,245 t_{max}^2, \quad (5)$$

где E_0 – годовой слой испаряемости, мм; t_{max} – среднемесячная температура воздуха самого теплого месяца (июля), °С. Для территории Украины эта формула была апробирована, в частности, в работе [20].

В табл. 1 представлены результаты оценки для базового периода 1949-1989 гг. и прогноза для периода 2031-2050 гг. коэффициентов увлажнения Высоцкого-Иванова, выполненных для нескольких опорных метеостанций для каждого региона. При оценке использованы наблюдаемые средние годовые суммы осадков $X_{год}$ и вычисленные по формуле (4) годовые величины испаряемости E_0 с использованием наблюдаемых среднемноголетних июльских температур воздуха $t_{июль}$. При прогнозе коэффициента увлажнения использованы «проекции» изменения годовых сумм осадков [15, 19], скорректированные на изменение осадков от 1949-1989 гг. к 1991-2010 гг. и «проекции» изменения среднеиюльской температуры в соответствии с [15, 19], также скорректированные на изменение температуры июля от 1949-1989 гг. к 1991-2010 гг.

В результате выполненных расчетов получено, что во всех 4-х регионах величины коэффициентов увлажнения в середине текущего столетия будут меньшими, чем в период 1949-1989 гг. т. е. степень засушливости климата в целом увеличится. При этом только в западном регионе уменьшение коэффициента увлажнения с точки зрения гидрометеорологических условий смыва почвы можно считать несущественным. Здесь коэффициент увлажнения уменьшится от значений 1,1-1,5, характеризующих увлажнение территории как избыточное до значений 1-1,4, характерных для условий либо достаточного ($K_{yg} \approx 1$) либо избыточного ($K_{yg} > 1$) увлажнения, при которых смывообразующая интенсивность в соответствии с (2) от предшествующей дождю влажности практически не зависит. То есть, можно утверждать, что в западном регионе изменение K_{GM} будет определяться только изменением количества осадков эрозионноопасного периода и составит 168% по сравнению с K_{GM} периода 1949-1989 гг.

Таблиця 2

**Оценка изменения коэффициента увлажнения
Высоцкого-Иванова от 1949-1989 гг. к 2031-2050 гг.**

Метеостанция	Регион	1949-1989 гг.				2031-2050 гг.				$\frac{K_{ув.2}}{K_{ув.1}}$
		$t_{инва}^*$ С	E_0 , мм	X , мм	$K_{ув.1}$	$t_{инва}^*$ С	E_0 , мм	X , мм	$K_{ув.2}$	
Измаил	Юг	22,1	863	465	0,54	24,9	1233	498	0,40	0,75
Одесса		21,7	818	447	0,55	24,5	1171	479	0,41	
Николаев		22,5	910	466	0,51	25,3	1297	499	0,38	
Умань	Центр	19,4	600	600	1,00	22,1	859	662	0,77	0,77
Вінниця		18,6	539	614	1,14	21,2	766	677	0,88	
Лубны		20,0	650	594	0,91	22,7	934	655	0,70	
Львов	Запад	17,6	474	716	1,51	19,8	629	858	1,36	0,89
Шепетовка		18,0	499	668	1,34	20,2	666	800	1,20	
Черновцы		19,0	568	626	1,10	21,2	769	750	0,98	
Харьков	Восток	20,4	686	510	0,74	23,2	1001	580	0,58	0,82
Дебальцево		20,7	715	552	0,77	23,3	1015	662	0,65	
Мариуполь		22,2*	874	498*	0,57	24,9	1235	597	0,48	

Примечание: *- данные [8].

В центре же, на востоке и, особенно, на юге ситуация иная. В наименьшей степени изменится коэффициент увлажнения в регионе Восток – в среднем до 82% от исходного – от значений 0,77-0,57 до 0,65-0,48. В центре к середине столетия согласно выполненной оценке коэффициент увлажнения уменьшится от значений 1,1-0,9 в 1949-1989 гг., характеризующих в этот период достаточное увлажнение, до значений 0,9-0,7, хакартерных для территорий неустойчивого увлажнения. На юге ожидается уменьшение коэффициента увлажнения от значений 0,54-0,51 до 0,41-0,38, которые не выходят за пределы диапазона значений, характерных для степной зоны (0,3-0,6), но отражают более засушливые условия. Таким образом, во всех этих регионах увеличение засушливости климата может повлиять на величину нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы.

Оценка изменения влажности верхнего слоя почвы в связи с прогнозируемыми изменениями климата для юга, центра и востока Украины выполнена на осно-

ве уравнения водного баланса верхнего метрового слоя почвы для месячного расчетного интервала времени Δt :

$$W_{\kappa} = W_{\eta} + X - E - Y - U, \quad (6)$$

где W_{κ} – запасы продуктивной влаги в конце расчетного интервала времени, мм; W_{η} – то же на начало расчетного интервала, мм; X – атмосферные осадки, мм; E – суммарное испарение, мм; Y – поверхностный сток, мм; U – отток влаги за пределы рассматриваемого слоя почвы. Последнее слагаемое в дальнейшем не учитывалось, исходя из того, что для зон неустойчивого и недостаточного увлажнения с мая по сентябрь испаряемость существенно превышает осадки и отток влаги за пределы метрового слоя почвы несущественен.

Поверхностный сток в пределах региона Юг изменяется от менее 5 мм (на крайнем юге) до в среднем 30-35 мм (на севере) при средних значениях 15-20 мм, в пределах региона Центр – от 30 мм до 65 мм при средних значениях 50-55 мм, в пределах региона Восток – от 20 до 60 мм при средних значениях 30-40 мм [14]. На летний период в пределах рассматриваемой территории приходится около 15% годового стока. Учитывая, что май-сентябрь здесь – это период меженного стока и можно принять его более или менее равномерно распределенным во времени, средний месячный слой стока за этот период на юге не превышает 1 мм, в центре и на востоке – 2 мм. Учитывая столь малые величины слоя поверхностного стока, при расчете почвенных влагозапасов по уравнению (6) по месячным временным интервалам, поверхностный сток можно не учитывать во всех трех регионах.

Если принять, что месячный слой испарения с поверхности почвы пропорционален произведению испаряемости (E_0) и отношению средней за расчетный интервал продуктивной почвенной влажности, определяемой как полусумма почвенной влажности на начало и конец месяца, и наименьшей продуктивной влагоемкостью (W_{HB}) активного слоя почвы, как это принято, например, в комплексном методе определения суммарного испарения [5]:

$$E = \frac{W_{\eta} + W_{\kappa}}{2W_{HB}} E_0 \text{ при } \frac{W_{\eta} + W_{\kappa}}{2} < W_{HB} \text{ и}, \quad (7)$$

$$E = E_0 \text{ при } \frac{W_{\eta} + W_{\kappa}}{2} \geq W_{HB},$$

то выражение (6) с учетом того, что $Y=U \approx 0$, преобразуется к виду

$$W_{\kappa} = \frac{1}{1 + \frac{E_0}{2W_{HB}}} \left[\left(1 - \frac{E_0}{2W_{HB}} \right) W_{\eta} + X \right], \quad (8)$$

Линейная зависимость испарения от относительной продуктивной среднего влажности корнеобитаемого слоя принята также в тепловоднобалансовом методе расчета суммарного испарения С. И. Харченко и ряде других методов.

Для расчета величин испаряемости по месячным интервалам использована формула Н. Н. Иванова [7]:

$$E_0 = 0,0018 \times (25 + T_{cp.})^2 (100 - r_{cp.}), \quad (9)$$

где $T_{cp.}$ и $r_{cp.}$ – среднемесячная температура ($^{\circ}\text{C}$) и относительная влажность воздуха (%), соответственно.

Расчет почвенной влажности с использованием выражения (8) последовательно по расчетным интервалам времени требует задания влажности почвы на начало первого расчетного интервала, в данном случае, на конец апреля – начало начала мая.

Для решения этой задачи использованы данные о среднесуточных запасах продуктивной почвенной влажности верхнего метрового слоя почвы для периода вегетации сельскохозяйственных культур в долях от наименьшей продуктивной влагоемкости этого слоя по агроклиматическим зонам, представленные в [10].

В соответствии с [10] регион Юг в основном лежит в пределах агроклиматических зон IV_2 , V_2 и VI , имеющих субширотное простираие. Зона IV_2 занимает северную часть региона с диапазоном значений продуктивной почвенной влажности в период вегетации сельскохозяйственных культур с длительным вегетационным периодом (кукуруза, подсолнечник, сахарная свекла), практически совпадающим с эрозионноопасным периодом, – $0,88-0,67$ от W_{HB} . В пределах южной и приморской частей региона Юг выделены зоны V_2 и VI с диапазоном продуктивной почвенной влажности $0,62-0,51$ и $0,61-0,53$ от W_{HB} , соответственно. Учитывая прогнозируемое изменение коэффициента увлажнения Высоцкого-Иванова к 2031-2050 гг., можно предположить, что изменение влажности активного слоя почвы за рассматриваемый период соответствует различию почвенной влажности агроклиматических зон IV_2 и V_2-VI . В этом случае начальная влажность метрового слоя почвы для первого месяца эрозионноопасного периода для 1949-1989 гг. будет равна $0,88W_{HB}$, для 2031-2050 гг. – $0,61W_{HB}$.

В пределах региона Центр, где общее увлажнение территории уменьшается с северо-запада на юго-восток, пространственное распределение почвенной влажности более сложное. Территория региона полностью или частично находится в пределах агроклиматических зон I_2 , I_3 , II_4 , III_3 и III_4 . Причем пространственное распределение относительной продуктивной влажности активного почвенного слоя здесь не имеет такого выраженного зонального характера, как в регионе Юг. Наибольшее значение относительной продуктивной влажности для начала вегетационного периода в пределах региона составляет $0,93W_{HB}$, на-

именшее – $0,70W_{HB}$. В первом приближении эти значения и будем рассматривать как значения продуктивной влажности активного слоя почвы на начало эрозионноопасного периода для 1949-1989 гг. и 2031-2050 гг., соответственно.

Регион Восток имеет субмеридиональное простирание, его северная часть (Харьковская область) в соответствии с [10] лежит в пределах слабозасушливой агроклиматической зоны II_5 с диапазоном продуктивной влажности метрового слоя почвы 0,88-0,48 от W_{HB} , центральная – в пределах слабозасушливых зон III_3 и III_4 с диапазоном продуктивной влажности 0,93-0,60 от W_{HB} и 0,93-0,50 от W_{HB} , соответственно, юг региона (Приазовье) – в пределах очень засушливой зоны V_1 с диапазоном продуктивной влажности 0,75-0,59 от W_{HB} . Начальное значение продуктивной почвенной влажности для периода 1949-1989 гг., таким образом, для севера региона может быть принято равным $0,88 W_{HB}$, для центра – $0,93 W_{HB}$, для Приазовья – $0,75 W_{HB}$. Учитывая, демонстрируемое данными табл. 2, относительно небольшое увеличение засушливости климата региона к 2031-2050 гг., заметно уменьшающееся с севера на юг, начальные значения продуктивной почвенной влажности для периода прогнозирования приняты равными 0,72, 0,78 и 0,65 от W_{HB} , соответственно.

Расчеты динамики влажности верхнего метрового слоя почвы в течение мая-сентября по опорным метеостанциям регионов Центр, Юг и Восток по уравнению (8) для двух периодов – действующего климатического (1961-1990 гг.), показатели которого близки к показателям 1949-1989 гг., и периода 2031-2050 гг. показали, что, несмотря на принятое существенное уменьшение начальной продуктивной влажности почвы для этих периодов – на 31% для региона Юг, на 25% для региона Центр и на 16 % для региона Восток – средние значения почвенной влажности за весь рассматриваемый период (май-сентябрь) изменились незначительно: на 7 % для региона Юг (от 78 % до 71 % наименьшей влагоемкости метрового слоя почвы) на 5 % для региона Центр (от 85% до 80% наименьшей влагоемкости) и на 3% для региона Восток (с 79% до 76% наименьшей влагоемкости). Такое изменение влажности активного слоя почвы приведет в соответствии с зависимостью нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва от почвенной влажности [24, 21] к уменьшению нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы на 7% в регионе Юг, на 3 % в среднем в регионе Центр и на 2% в регионе Восток.

Необходимо подчеркнуть, что вследствие наличия обратной отрицательной связи между испарением с поверхности почвы и почвенной влажностью, влияние влажности почвы на начало эрозионноопасного периода при последовательном поинтервальном расчете по выражению (8) заметно лишь в первые два расчетные интервала времени. Далее результаты расчета зависят только от соотношения между испаряемостью и осадками. В связи с этим зависимость средней за эрозионноопасный период (за 5 месяцев) величины влажности верхнего слоя почвы от влажности почвы в начале расчетного периода снижена и возможная ошибка в задании начальной влажности почвы не сказывается

или мало сказывается на результате расчетов. Так, численные эксперименты с моделью (8) показали, что для региона Восток снижение к 2031-2050 гг. начальной влажности почвы в 1,5 раза большее по сравнению с принятым в работе приводит к уменьшению средней за май-сентябрь продуктивной влажности метрового слоя почвы по отдельным метеостанциям лишь на 3-5%.

Сопоставляя цифры, характеризующие влияние на $K_{ГМ}$ изменения степени засушливости климата с результатами оценки изменения нормы гидрометеорологического фактора под влиянием прогнозируемого изменения количества осадков мая-сентября, получаем, что в связи с изменениями климата и прогнозными его характеристиками по сценарию А1В Межправительственной группы экспертов по изменению климата в Степи и Лесостепи Украины на 2031-2050 гг. в целом по сравнению с 1949-1989 гг. ожидается увеличение эрозионной опасности склоновых земель. Однако это увеличение в различных частях рассматриваемой территории будет существенно неодинаковым. В пределах региона Юг увеличение нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва под влиянием роста количества осадков эрозионноопасного периода будет практически полностью компенсировано увеличением засушливости климата и формально ожидаемый рост нормы $K_{ГМ}$ составит 2 %. Такое «увеличение» находится в пределах точности расчетов и его можно не учитывать. В регионе Центр засушливость климата проявится меньше, а увеличение количества осадков – больше, чем на юге, в результате ожидаемое увеличение нормы гидрометеорологического фактора составит 17 %. В регионе Восток влияние увеличения засушливости климата будет незначительным и общее увеличение $K_{ГМ}$ составит 13 %. В наибольшей степени увеличение нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы ожидается в регионе Запад за счет прогнозируемого существенного увеличения количества осадков эрозионноопасного периода и сохранения высокого уровня почвенной влажности – на 68 %.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика оценки изменения одного из наиболее информативных показателей гидрометеорологических условий ливневой эрозии почв – нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва – под влиянием изменений климата в пределах Степи и Лесостепи Украины на среднесрочную перспективу (2031-2050 гг.) опирается на существующую информационную базу и прогноз (проекции) температуры воздуха, атмосферных осадков и относительной влажности воздуха по сценарию А1В/RCР6.0, представленный в Шестом национальном сообщении Украины по вопросам изменения климата.

2. Выполненная оценка нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы по регионам Юг, Центр, Восток и Запад показала, что по сравнению с периодом 1949-1989 гг., для которого ранее были рассчитаны зна-

чення $K_{ГМ}^*$, в пределах Степи и Лесостеи Украины в 2031-2050 гг. в целом ожидается увеличение нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва и, соответственно, интенсивности ливневой эрозии почв, хотя и существенно неодинаковое по отдельным регионам.

3. Наиболее неблагоприятным в этом отношении выглядит регион Запад, где рост нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва по сравнению с 1949-1989 гг. оценен в 68 %, наименее неблагоприятным – регион Юг, где некоторый рост эрозионной опасности, связанный с ростом атмосферных осадков практически полностью компенсируется влиянием увеличения засушливости климата. Для регионов Центр и Восток увеличение нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы составит 17 % и 13 %, соответственно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апполов Б. А.* Курс гидрологических прогнозов [Текст] / Б. А. Апполов, Г. П. Калинин, В. Д. Комаров. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 420 с.
2. *Балабух В. О.* Особливості термічного режиму 2013 року в Україні [Текст] / В. О. Балабух, О. М. Лавриненко, Л. В. Малицька // Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса: Вид-во ПП «ТЕС». – 2014. – № 14. – С. 30-46.
3. *Барабаш М. Б.* Дослідження змін та коливань опадів на рубежі XX і XXI ст. в умовах потепління глобального клімату [Текст] / М. Б. Барабаш, Т. В. Корж, О. Г. Татарчук // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 92-103.
4. *Бефани Н. Ф.* Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам, 2-ое изд. [Текст] / Н. Ф. Бефани, Г. П. Калинин — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 390 с.
5. *Зубенко Л. И.* Испарение на континентах / Л. И. Зубенко. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 264 с.
6. *Иванов Н. Н.* Ландшафтно-климатические зоны земного шара [Текст] / Н. Н. Иванов. – Москва; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, 1948. – 224 с.
7. *Иванов Н. Н.* Об определении величин испаряемости [Текст] / Н. Н. Иванов. – М.: Изв. ГГО, 1954. – С. 189–196.
8. Кліматичний кадастр України [Електронний ресурс] / Державна гідрометеорологічна служба УкрНДГМІ, Центральна Геофізична Обсерваторія: Київ, 2006.
9. *Коломыц Э. Г.* Локальные коэффициенты увлажнения и их значение для экологических прогнозов [Текст] / Э. Г. Коломыц // Изв. РАН. Сер. географ. – 2010. – № 5. – С. 61–73.
10. *Ляшенко Г. В.* Агроклиматическая оценка продуктивности сельскохозяйственных культур в Украине [Текст] / Г. В. Ляшенко. – Одесса: НИЦ «ИВиВ им. В. Е. Таирова», 2011. – 249 с.
11. *Маккавеев Н. И.* Руслу реки и эрозия в ее бассейне [Текст] / Н. И. Маккавеев. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1955. – 345 с.
12. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році [Текст]. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОР Грінв Д.С. 2017–. – 308 с.
13. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України [Текст] / Балюк С. А., Медведєв В. В., Тараріко О. Г. [та ін.]. – К.: ТОВ «ВИК ПРИНТ», 2010. – 111 с.
14. Національний атлас України [Карты]; голов. ред. Л. Г. Руденко. – К.: ДНВП «Картографія», 2008. – 440 с.
15. Оценка уязвимости, влияние изменений климата и меры по адаптации [Текст] / Шестое национальное сообщение Украины по вопросам изменения климата. – Киев, 2012. – С. 182-197.
16. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України [Текст] / С. М. Степаненко, А. М. Польовий, Є. П. Школьнік [та ін.]; за ред. С. М. Степаненко, А. М. Польового – Одеса: Екологія, 2011. – 696 с.
17. Почвы Украины и повышение их плодородия. Т. 1. Экология, режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты [Текст]; под. ред. Н. И. Полулана. – К.: Урожай, 1988. – 296 с.
18. *П'яткова А. В.* Просторове моделювання водної ерозії ґрунту як основа наукового обґрунтування раціонального використання ерозійно-небезпечних земель [Текст]: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.11 / А. В. П'яткова; Одеський державний екологічний університет. – Одеса, 2011. – 20 с.

19. Розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньо- та довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей. Звіт про науково-дослідну роботу. – К. : УкрНДГМІ, 2013. – 135 с. – Режим доступу: <http://uhmi.org.ua/project/rvndr/climate.pdf>.
20. Розробка концепції національної політики адаптації сільського господарства України до зміни клімату. Заключний звіт завдання Служби експертної підтримки Clima East CEEF2016-083-UA. Проект, версія 1.0, 26 квітня 2017 р. [Текст]. – Режим доступу: http://1067656943.n159491.test.prositehosting.co.uk/wp-content/sec/uploads/2017/05/CEEF-083-UA-final-report-UKR_v7.pdf.
21. *Светличный А. А.* Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты [Текст] / А. А. Светличный, С. Г. Черный, Г. И. Швец. – Сумы: Университетская книга, 2004. – 410 с.
22. *Светличный А. А.* К вопросу о современных изменениях климата северо-западного Причерноморья [Текст] / А. А. Светличный, М. С. Ибрагимова // Вісник ОНУ. географічні та геологічні науки. – 2016. – Том 21. – Вип. 1 (28). – С. 22-41.
23. *Хромов С. П.* Метеорологический словарь [Текст] / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.
24. *Чорний С. Г.* Схилові зрошувані агроландшафти: ерозія, ґрунтоутворення, раціональне використання [Текст] / С. Г. Чорний. – Херсон: Борисфен, 1996. – 171 с.
25. *Швец Г. И.* Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка / Г. И. Швец. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 184 с.
26. *Швец Г. И.* Гидрометеорологические условия формирования ливневой эрозии почв [Текст] / Г. И. Швец, А. А. Светличный, С. Г. Черный. – 11 с. – Деп. в ГНТБ Украины 24.02.93, №261-Ук93.
27. *Boardman J.* Climate change and soil erosion on agricultural land in England and Wales [Текст] / J. Boardman, R. Evans, D. T. Favis-Mortlock, T. M. Harris // Land Degradation and Development, 1990, Vol. 2. – pp. 95-106.
28. *Boardman J.* Climate Change and Soil Erosion in Britain [Текст] / J. Boardman, D. T. Favis-Mortlock // Geographical Journal, 1993. Vol. 159. № 2. – pp. 179-183.
29. *Carter T. R.* Preliminary Guidelines for Assessing Impact of Climate Change [Текст] / T. R. Carter, M. L. Pary, S. Nishioka, H. Harasava // Center for Global Environmental Research, Oxford, 1992. – 28 p.
30. *De Ploy J.* Soil erosion, soil degradation and climate change [Текст] / J. De Ploy, F. Imeson, L. R. Oldeman // F. M. Brouwer, F. J. Thomas, M. J. Chadwick (Eds), Land Use Changes in Europe. – Dordrecht : Kluwer, 1991. – pp. 275-292.
31. Website of the European Climate Assessment & Dataset project [Електронний документ]. – Режим доступу: <http://eca.knmi.nl>.

REFERENCES

1. Appolov, B. A., Kalinin, G. P., Komarov, V. D. (1974), Kurs gidrologicheskikh prognozov [*Hydrological forecasting course*], L. : Hidrometeoizdat, 420 p.
2. Barabash, M. B., Korzh, T. V., Tatarchuk, O. G. (2004), Doslidzhennya zmin ta koly`van` opadiv na rubezhi XX i XXI st.. v umovax poteplynnya global`nogo klimatu [Investigation of changes and fluctuations of precipitation at the turn of the XX and XXI centuries in the conditions of global warming], *Nauk. praci UkrNDHMI*, No. 253, pp. 92-103.
3. Balabux, V. O., Lavry`nenko, O. M., Maly`cz`ka, L. V. (2014), Osobly`vosti termichnogo rezhy`mu 2013 roku v Ukraini [Features of the thermal regime of 2013 in Ukraine], *Ukrainian hydrometeorological Journal*, No 14, pp. 30-46.
4. Befani, N. F., Kalinin, G. P. (1983), Uprazhneniya i metodicheskie razrabotki po gidrologicheskim prognozam. 2-oe izd. [*Exercises and methodical developments of hydrological forecast, 2nd ed*], L. : Hidrometeoizdat, 390 p.
5. Zubenok, L. I. (1976), *Isparenie na kontinentakh* [Evaporation on the continents], L. : Hidrometeoizdat, 1976, 264 p.
6. Ivanov, N. N. (1948), *Landschaftno-klimaticheskie zony zemnogo shara* [Landscape-climatic zones of the globe], Moskva; Leningrad : Izd-vo Akad. Nauk SSSR Moskva, 224 p.
7. Ivanov, N. N. (1954), Ob opredelenii velichin isparyaemosti [On the determination of the values of evaporation], M. : *Izv. GGO*, pp. 189 – 196.
8. Klimaty`chny`j kadastr Ukrainy` (2006), [Climatic cadastre of Ukraine] Derzhavna gidrometeorologichna sluzhba, UkrNDGMI, Central`na Geofizy`chna Observatoriya : Ky`yiv.
9. Kolomyts, E. G. (2010), Lokalnye koeffitsienty uvlazhneniya i ikh znachenie dlya ekologicheskikh prognozov [Local moisture coefficients and their significance for environmental forecasts], *Proceedings of the RAS, Geography series*, No 5, pp. 61–73.

10. Lyashenko, G. V. (2011), *Agroklimaticheskaya otsenka produktivnosti selskokhozyaystvennikh kultur v Ukraine* [Agroclimatic assessment of the productivity of agricultural crops in Ukraine], Odessa : NIC «IVIV named after V.E.Tairov», 249 p.
11. Makkaveev, N. I. (1955), *Riverbed and erosion in the basin* [Ruslo reki i eroziya v ee bassejne], Moscow: Publishing house of Academy of Science of USSR, 346 p.
12. *Nacional'na dopovid' pro stan navkoly'shn'ogo pry'rodnogo seredovy'shha v Ukraini u 2015 roci* (2017). [National report on the state of the environment in Ukraine in 2015] – K. : Ministerstvo ekologiyi ta pry'rodn'y'x resursiv Ukrainy', FOP Grin' D.S., 308 p.
13. Balyuk, S. A., Medvedyev, V. V., Tarariko, O. G. ta in. (2010), *Nacional'na dopovid' pro stan rodyuchosti g'runtiv Ukrainy'* [National report on soil fertility in Ukraine], K. : TOV «VIK PRINT», 111 p.
14. *Nacional'ny'j atlas Ukrainy'* (2008), [National atlas of Ukraine] [golov. red. L. G. Rudenko], K. : DNVP «Kartografiya», 440 p.
15. “Otsenka uyazvimosti, vliyanie izmeneniy klimata i mery po adaptatsii” (2012) [“Vulnerability assessment, the impact of climate change and adaptation measures”] *Shestoe natsionalnoe soobshchenie Ukrainy po voprosam izmeneniya klimata* [The Sixth National Communication of Ukraine on Climate Change]. Kiev, pp. 182-197.
16. Stepanenko, S. M. Pol'ovy'j, A. M., Shkol'ny'j, Ye. P. ta in. (2011), *Ocinka vplyvu klimaty'chny'x zmin na galuzi ekonomiky' Ukrainy'*, za red. S. M. Stepanenko, A. M. Pol'ovy'j [Assessment of the impact of climate change on the economy of Ukraine, S. M. Stepanenko, A. M. Poljovyi eds], Odesa : Ekologiya, 696 p.
17. *Pochvy Ukrainy i povyshenie ikh plodorodiya. T. 1. Ekologiya, rezhimy i protsessy, klassifikatsiya i genetiko-proizvodstvennye aspekty* (1988), [Soil of Ukraine and increase of their fertility. T. 1. Ecology, Regimes and Processes, Classification and Genetic-Production Aspects], Pod. red. N. I. Polupana, K.: Urozhay, 296 p.
18. Pyatkova, A. V. (2011), *Spatial modeling of soil erosion as a basis for the scientific substantiation of the rational use of erosion-prone land: Author's thesis* [Prostorove modelyuvannya vodnoyi eroziyi gruntu yak osnova naukovoho obruntuuvannya ratsional'noho vykorystannya eroziyno-nebezpechnykh zemel] : avtoref. dis.... kand. geogr. nauk, Odesa, 20 p.
19. *Rozroblennya scenariyiv zminy' klimaty'chny'x umov v Ukraini na seredn'o- ta dovgostrokovu perspekty'vu z vy'kory'stanniam dany'x global'ny'x ta regional'ny'x modelej. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu* (2013). [Development of scenarios for changing the climatic conditions in Ukraine in the medium and long term using the data global and regional models. Report on research work], K. : UkrNDHMI, 135 p. Available at: <http://uhmi.org.ua/project/rvndr/climate.pdf> [Accessed 7 March 2018].
20. *Rozrobka koncepciyi nacional'noyi polity'ky' adaptatsiyi sil's'kogo gospodarstva Ukrainy' do zminy' klimatu* [Development of the concept of national rural-adaptation policy Ukrainian economy to climate change] Zaklyuchny'j zvit zavdannya Sluzhby' ekspertnoyi pidtry'mky' Clima East CEEF2016-083-UA. Proekt, versiya 1.0, 26. Available at: http://1067656943.n159491.test.prositetesting.co.uk/wp-content-sec/uploads/2017/05/CEEF-083-UA-final-report-UKR_v7.pdf [Accessed 7 March 2018].
21. Svetlitchnyi, A. A., Chorny, S. H., Shvebs, H. I. (2004), *Soil erosion science: theoretical and applied aspects: monograph* [Eroziovedenie: teoreticheskie i prikladnye aspekty: monografiya], Sumy: ITD «Universitetskaya kniga», 410 p.
22. Svetlitchnyi, A. A., Ibragimova, M. S. (2016), K voprosu o sovremennykh izmeneniyakh klimata severo-zapadnogo Prichernomor'ya [On the issue of modern climate changes in the north-western Black Sea region], Odessa National University Herald. Series: Geography & Geology, vol. 21, No 1 (28), pp. 22-41.
23. Khromov, S. P. Mamontova, L. I. (1974), *Meteorologicheskii slovar* [Meteorological dictionary], L. : Hidrometeoizdat, 568 p.
24. Chorny'j, S. G. (1996), *Sxy'lovi zroshuvani agrolandshafy': eroziya, gruntoutvorenniya, racional'ne vy'kory'stannya* [Sloped irrigated agro-landscapes: erosion, soil formation, rational use], Xerson : Bory'sfen, 171 p.
25. Shvebs, H. I. (1974), *Formation water erosion, sediment runoff and their evaluation* [Formirovanie vodnoy erozii, stoka nanosov i ikh otsenka], Leningrad : Hydrometeoizdat, 184 p.
26. Shvebs, G. I., Svetlitchnyi, A. A., Chernyi, S. G. (1993), *Gidrometeorologicheskie usloviya formirovaniya livnevoy erozii pochv* [Hydrometeorological conditions of formation of storm soil erosion]. – 11 p. – Dep. In GNTB Ukrainy 24.02.93, №261-Uk93.
27. Boardman, J., Evans, R., Favis-Mortlock, D. T., Harris, T. M. (1990), Climate change and soil erosion on agricultural land in England and Wales // *Land Degradation and Development*, vol. 2, pp. 95-106.
28. Boardman, J., Favis-Mortlock, D. T. (1993), Climate Change and Soil Erosion in Britain // *Geographical Journal*, vol. 159, No 2, pp. 179-183.
29. Carter, T. R., Parry, M. I., Nishioka, S., Harasava H. (1992), Preliminary Guidelines for Assessing Impact of Climate Change. Center for Global Environmental Research, Oxford, 28 p.

30. De Ploy, J., Imeson, F., Oldeman, L. R. (1991), Soil erosion, soil degradation and climate change / F. M. Brouwer, F. J. Thomas, M. J. Chadwick (Eds), Land Use Changes in Europe, – Dordrecht : Kluwer, pp. 275-292.
31. Website of the European Climate Assessment & Dataset Project. Available at: <http://eca.knmi.nl> [Accessed 7 March 2018].

Надійшла 31.03.2018

О. О. Світличний, доктор геогр. наук, професор
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
кафедра фізичної географії та природокористування,
Шампанський пров., 2, Одеса, 65058, Україна
svetlitchnyi.aa.od@gmail.com

ОЦІНКА ЗМІН ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ЗЛИВОВОЇ ЕРОЗІЇ ҐРУНТУ В СТЕПУ ТА ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ У ЗВ'ЯЗКУ ЗІ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ

Резюме

Сучасні та майбутні кліматичні зміни неминуче змінюють гідрометеорологічні умови водної ерозії, найбільш поширеного процесу деградації ґрунтів в Україні, негативні наслідки якого впливають практично на всі компоненти ландшафтів і завдають величезний економічний та екологічний збиток. Найбільш розповсюдженим видом ерозії ґрунтів у ерозійнонебезпечних Степу і Лісостепу України є зливова ерозія, роль якої ще більше зростає в зв'язку з потепленням клімату. Відповідно, метою статті є кількісна оцінка зміни гідрометеорологічних умов зливової ерозії ґрунту в межах Степу та Лісостепу України в середньостроковій перспективі (на 2031-2050 рр.). Об'єктом дослідження є гідрометеорологічні умови зливової ерозії ґрунтів, предметом – зміни цих умов внаслідок зміни клімату в межах степової та лісостепової зон України.

В основу оцінки зміни гідрометеорологічних умов зливової ерозії ґрунту в степовій та лісостеповій зонах України покладено прогнозовані значення («проекції») середніх місячних і річних опадів, температур повітря та відносної вологості повітря на 2031-2050 рр. для чотирьох регіонів України – Захід, Центр, Схід та Південь, опубліковані у Шостому національному повідомленні України з питань зміни клімату.

Оцінка зміни гідрометеорологічних умов зливової ерозії виконана з використанням так званого «гідрометеорологічного фактору зливогого змиву ґрунту», середньорічне значення якого є компонентом фізико-статистичної моделі змиву-аккумуляції ґрунту, розробленої в Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова. Гідрометеорологічний фактор зливогого змиву враховує не тільки характеристики ерозійнонебезпечних дощів, але також і зволоження ґрунту.

Інформаційною основою роботи є середньорічні значення гідрометеорологічного фактору, розраховані раніше з використанням даних спостережень на 22 метеорологічних станціях, що знаходяться в степовій та лісостеповій зонах України, з повним набором необхідних даних за період з 1949 по 1989 рр., місячні та річні температури повітря та атмосферні опади по чотирьох-п'яти опорним метеорологічним станціям для кожного з регіонів з даними спостережень за 1949-2010 рр., а також матеріали Кліматичного кадастру України.

Відповідно до виконаних розрахунків в 2031-2050 рр. у порівнянні з періодом 1949-1989 рр. в межах Степу та Лісостепу України в цілому очікується збільшення середньорічних значень гідрометеорологічного фактору зливогого змиву і, відповідно, інтенсивності зливогого ерозії ґрунту, хоча різне для окремих регіонів.

Регіон Захід є найбільш несприятливим у цьому відношенні. Зростання гідрометеорологічного фактору зливогого змиву ґрунту в цьому регіоні для періоду 2031-2050 гг. в порівнянні з 1949-1989 роками оцінено в 68 %. Найменш несприятливим є регіон Південь, де збільшення небезпеки ерозії, пов'язаної зі збільшенням кількості опадів, практично повністю компенсується впливом зростаючої посушливості клімату. Для регіонів Центр та Схід збільшення гідрометеорологічного фактору зливогого змиву ґрунту складе, відповідно, 17 % та 13 %.

Ключові слова: Степ і Лісостеп України, зливого ерозія ґрунту, гідрометеорологічні умови, зміни клімату, 2031-2050 рр.

A. A. Svetlitchnyi

Odessa I. I. Mechnikov University,
Department of Physical Geography and Nature Management
Champagne Lane, 2, Odessa, 65058, Ukraine
svetlitchnyi.aa.od@gmail.com

EVALUATION OF CHANGES IN HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF RAIN STORM SOIL EROSION IN STEPPE AND FOREST-STEPPE ZONES OF UKRAINE IN CONNECTION WITH CLIMATE CHANGE

Abstract

Problem Statement and Purpose. Modern and forthcoming climate changes inevitably change the hydrometeorological conditions of water erosion of soils, the most widespread soil degradation process in Ukraine, the negative consequences of which affect virtually all the components of landscapes and cause huge economic and environmental damage. The most widespread kind of soil erosion in the Steppe and Forest Steppe in Ukraine is the storm water erosion, whose role is increasing due to the warming of the climate. Accordingly, *the purpose* of the article is to quantify the change in the hydrometeorological conditions of the storm washout of the soil within the Steppe and Forest-Steppe of Ukraine in the medium term (2031-2050). *The object* of the study is the hydrometeorological conditions of storm soil erosion, the subject is the changes in these conditions due to climate change within the Steppe and Forest-Steppe of Ukraine.

Data & Methods. In the basis for assessing the change in the hydrometeorological conditions of the soil erosion within the Steppe and Forest-Steppe of Ukraine is laid the forecasted values ("projections") of average monthly and annual precipitation, air temperatures and relative air humidity for 2031-2050 for four regions of Ukraine – West, Center, East and South, published in Sixth National Communication of Ukraine on Climate Change.

An assessment of the change in the hydrometeorological conditions of rain storm soil erosion is performed on the basis of the so-called «hydrometeorological factor of storm washout of soil», the average annual value of which is a parameter of the physico-statistical model of erosion-accumulation of soil, developed at the Odessa I. I. Mechnikov National University. The hydrometeorological factor of rain storm soil erosion takes into account not only the characteristics of rains, but also the antecedent moistening of the soil.

The information basis of the work is the average annual values of the hydrometeorological factor of rain storm washout calculated earlier using data of observations at 22 meteorological stations located in the steppe and forest-steppe zones of Ukraine with a full set of necessary data for the period from 1949 to 1989, monthly air temperatures and the precipitation amounts for four to five «reference» weather stations for each of the four regions within which the Steppe and Forest steppe of Ukraine lies, with observational data from 1949 to 2010, and also the materials of the Climate Kadastr of Ukraine.

Results. In comparison with the period 1949-1989, within the Steppe and Forest-steppe of Ukraine in 2031-2050, in general, an increase in the mean annual value of the hydrometeorological factor of storm washout and, correspondingly, the intensity of storm erosion of soils, although significantly different for individual regions, is expected.

The region West is the most unfavorable in this respect, in which the growth rate of the hydrometeorological factor of storm washout of soil as compared with 1949-1989. is estimated at 68%. The least unfavorable is the South region, where a certain increase in the erosion hazard associated with an increase in the amount of precipitation is almost completely offset by the effect of increasing arid climate. For the regions the Center and the East an increase in the hydrometeorological factor of the storm washout of soil will be 17% and 13%, respectively.

Keywords: Steppe and Forest steppe zones of Ukraine, rainstorm soil erosion, hydrometeorological conditions, climate change, 2031-2050.