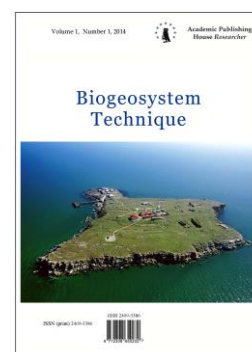


Copyright © 2016 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
E-ISSN: 2413-7316
Vol. 8, Is. 2, pp. 160-174, 2016

DOI: 10.13187/bgt.2016.8.160
www.ejournal19.com



UDC 631.481

Geomodeling of the spatial distribution of climatic and economic energy consumption for soil formation in agricultural landscapes of the Crimean Peninsula

Vitalii P. Nesterenko ^{a,*}, Denis S. Breus ^a

^aKherson State Agricultural University, Ukraine

Abstract

The paper presents the results of the situational modeling of the spatial distribution of climatic and economic energy for soil formation, taking into account the morphometric features of the relief and evaluation of the estimated maximum capacity values of the humus horizon of soils in agricultural landscapes of Crimea for the 1960–2009 period. The mean value of total energy consumption for soil formation on the peninsula is differentiated: on irrigated lands it is 1190–1380 MJ/m², on rainfed lands it is 940–1080 MJ/m². Situational modeling shows that since the introduction of irrigation practices in Crimea the area of agrolandscapes having the potential of humus profile formation of more than 1000 mm has increased by 18,8 %. The value of soil humus horizon capacity under the full realization of energy potential can vary widely; on average, it is 1015 mm (680–1350 mm) on rainfed and 1530 mm (1460–1600 mm) on irrigated lands. The impact of natural factors of soil formation under current conditions of extensive economic activity is accompanied in most cases by a large-scale manifestation of deflation and erosion processes in agricultural landscapes. In this connection, the stabilization of soil degradation processes can be achieved through taking rational scientifically grounded soil and water protective measures.

Keywords: climate, irrigation reclamation, energetics, soil formation, geomodeling, Crimea.

1. Введение

Почвообразовательный процесс является звеном геологического и биологического круговорота вещества и энергии. В результате почва приобретает ряд специфических черт, отсутствующих в почвообразующей породе и отличающих почву от всех других компонентов биосферы. По учению В.В. Докучаева (Докучаев, 1936) определены пять факторов почвообразования – климат, рельеф, горные породы, организмы, время. Каждый из факторов оказывает свое специфическое влияние на почвообразование, без участия какого-либо из них почвообразование невозможно. В этом смысле все факторы являются равнозначными и незаменимыми.

Во многих работах климат выделяется как отдельный динамичный неконтролируемый процесс, который имеет различную степень нелинейного воздействия на различные

* Corresponding author

E-mail addresses: vitaliynesterenko88@gmail.com (Vitalii P. Nesterenko),
brabus73034@rambler.ru (Denis S. Breus)

элементы геокосистемы, в т. ч. экологическое состояние поверхностных вод (Lisetskii et al., 2014), изменение гидрологического (Ji et al., 2013; Кузьменко, 2012; Kim et al., 2014; Лисецкий, 2013) и гидрохимического режима рек (Pichura, 2015), прогнозирование паводков (Aziz, 2014; Dawson, 2001), трансформацию агроландшафтов в различных типах речных бассейнов (Пичура, 2014) и других природно-территориальных комплексов. П.А. Костычев (Костычев, 1949) обосновывал достаточно тесную взаимосвязь «климат – почва». Он предполагал, что в почве углерода много раз больше, в сопоставлении с атмосферой, который может высвободиться через эрозию, сельскохозяйственную обработку, вырубку лесов, добычу полезных ископаемых, способствуя тем самым глобальным изменениям климата. Управляя почвами надлежащим образом, можно ограничить повышение концентрации углекислого газа в атмосфере и даже уменьшить её (Sokolov, Glazko, 2015).

Климатический фактор определяет обеспеченность процесса почвообразования влагой (атмосферные осадки) и энергией (солнечная радиация). Именно эти условия в большой степени определяют интенсивность протекающих в почве процессов. Известное правило Вант-Гоффа (Семиохин и др., 1995), согласно которому при повышении температуры на 10 градусов скорость химической реакции увеличивается в 2–4 раза, справедливо, естественно, и для почвенных процессов. Благоприятные гидротермические условия влияют на сообщества растительных и животных организмов, увеличивая их продуктивность, что в конечном итоге также влияет на интенсивность почвообразования. Климатическая обусловленность почвообразования является достаточно нестабильным временным процессом, что обусловлено циклическими процессами и их амплитудой, а также изменением направленности. За последние 20–30 лет произошли значительные изменения климата в степной и сухостепной зонах (Lisetskii, Pichura, 2016) – среднегодовые значения температуры воздуха возросли на 1,0–1,24°C, сумма осадков увеличилась на 62–69 мм. Результат дождевой агрокультуры (зональные системы земледелия) в условиях степи, сухой степи, полупустыни лимитирован наличием атмосферных осадков (Okolelova et al., 2015), поэтому необходимость получения высоких урожаев обусловила развитие в этих регионах орошаемого земледелия. Экстенсивное земледелие в орошаемых агроландшафтах на основе устаревших техники и технологии приводит к необратимым процессам ухудшения их гидрогеолого-мелиоративного состояния. Широкое развитие орошения до 2003 года ($S = 391,1$ тыс. га), его современное сокращение в 2,7 раза в 2013 г. ($S = 144,5$ тыс. га), и в 26 раз в 2015 г. ($S = 15,0$ тыс. га) на фоне спровоцированной ирригацией деградации почв, высокая распаханность земель в крымских агроландшафтах (более 70 %), характер ветрового режима и увеличение частоты выпадения ливневых осадков во многом определяют активное развитие дефляции и водной эрозии, что приводит к ухудшению агрофизического, агрохимического состояния почв и неблагоприятному тренду почвообразовательных процессов.

2. Материалы, объекты и методы исследований

Объект исследования – агроландшафты Крымского полуострова.

Предмет исследований – влияния климата и хозяйственной деятельности (ирригационной нагрузки) на пространственное распределение энергетических затрат на почвообразование и формирование мощности гумусового горизонта на территории Крыма.

Существует два подхода определения эффективной климатической энергии через тепло- и влагообеспеченность, которые были предложены В.Р. Волобуевым (Волобуев, 1974) и С. Rasmussen, N.J. Tabor (Rasmussen, Tabor, 2007). Ранее (Ф.Н. Лисецкий, В.И. Пичура, 2015), установлена тесная экспоненциальная связь климатической энергетики на почвообразовательный процесс рассчитанной по моделям Rasmussen–Tabor (Q_{RT}) и Волобуева (Q_V): $Q_{RT} = 52,065 \exp(0,001Q_V)$; $r^2 0,93$, в результате показано, что предложенные подходы являются взаимодополняющими и обеспечивают возможность аппроксимации идентичных условий направленности климатической энергетики, но подход предложенный Волобуевым (Волобуев, 1974) обеспечивает дополнительную возможность определить влияние климата на формирование почвенного профиля. Поэтому в работе использовали методологию биоэнергетического подхода (Волобуев, 1974), позволяющего моделировать сценарии климатических воздействий, выраженные в энергетических эквивалентах, на

тренды развития почв во времени. Ранее в развитие этого подхода усовершенствована методика расчета энергетических затрат на почвообразование (Q) в зависимости от климатических факторов (Лисецкий, Чепелев, 2003) и предложена модель зависимости мощности гумусового горизонта от Q и содержания гранулометрической фракции физической глины в почвообразующих породах (Lisetskii, Chepelev, 2014). Расчет величин радиационного баланса, энергетических затрат на почвообразование (Q , МДж/м²), предельной мощности гумусового горизонта почв (H_{lim} , мм) в зависимости от Q и содержания физической глины в почвообразующих породах (РС, %; <0,01 мм) проводили по методикам, предложенным в работах (Лисецкий, Чепелев, 2003; Lisetskii, Chepelev, 2014). Для пространственного моделирования использовали усредненные данные оросительных норм на орошаемых землях, по температуре воздуха (t , °С) и сумме осадков (P , мм) за 1960–2009 гг. по девяти метеостанциям Крыма. Для построения цифровой модели рельефа (рис. 1) и оценки распределения по территории радиационного баланса (R , МДж/м²) использовали радарную топографическую съемку разрешением 30×30 м. Для ситуационного пространственного анализа и моделирования использовали программный продукт ArcGIS 10.1.

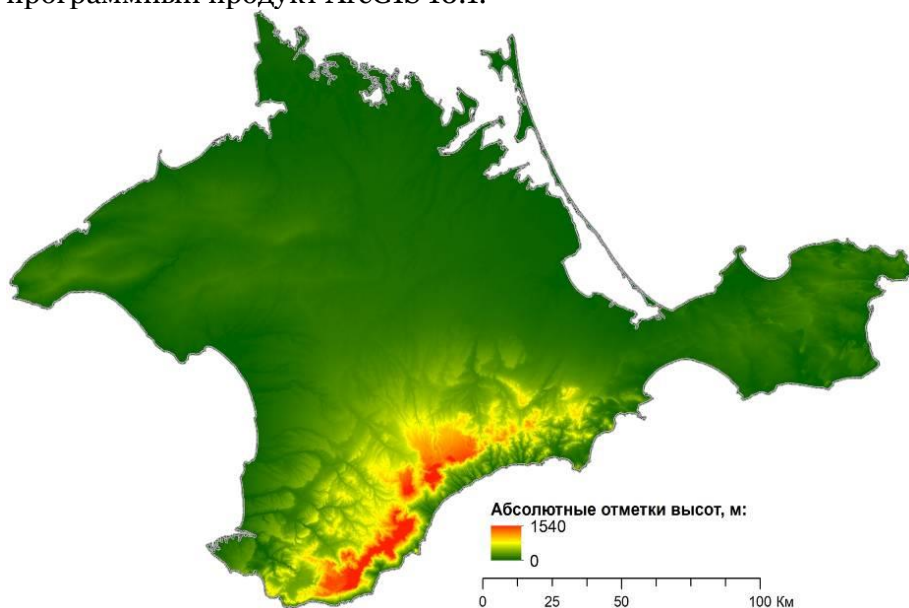


Рис. 1. Рельеф Крымского полуострова

3. Результаты и обсуждение

Известно, что глубина проявления почвообразовательного процесса во многом предопределена особенностями внутригодовой смены гидротермических условий – периода летнего осушения почвы, холодным периодом зимне-весеннего, а в некоторых районах, в частности в горной части Крыма, и осеннего промачивания. Ранее (Лисецкий, Ергина, 2010) уже были представлены первые результаты анализа пространственных закономерностей количественного распределения энергетических затрат на почвообразование на территории Крымского полуострова. В наших исследованиях представлена уточненная пространственная модель распределения энергетических затрат на почвообразование с учетом морфометрических особенностей рельефа (уклоны и экспозиция) и проведен расчет потенциальной предельной мощности гумусового горизонта почв, которая обусловлена климатом. Для этого на первом этапе определили морфометрические особенности рельефа Крыма – крутизну (рис. 2а) и экспозицию (рис. 2б) склонов.

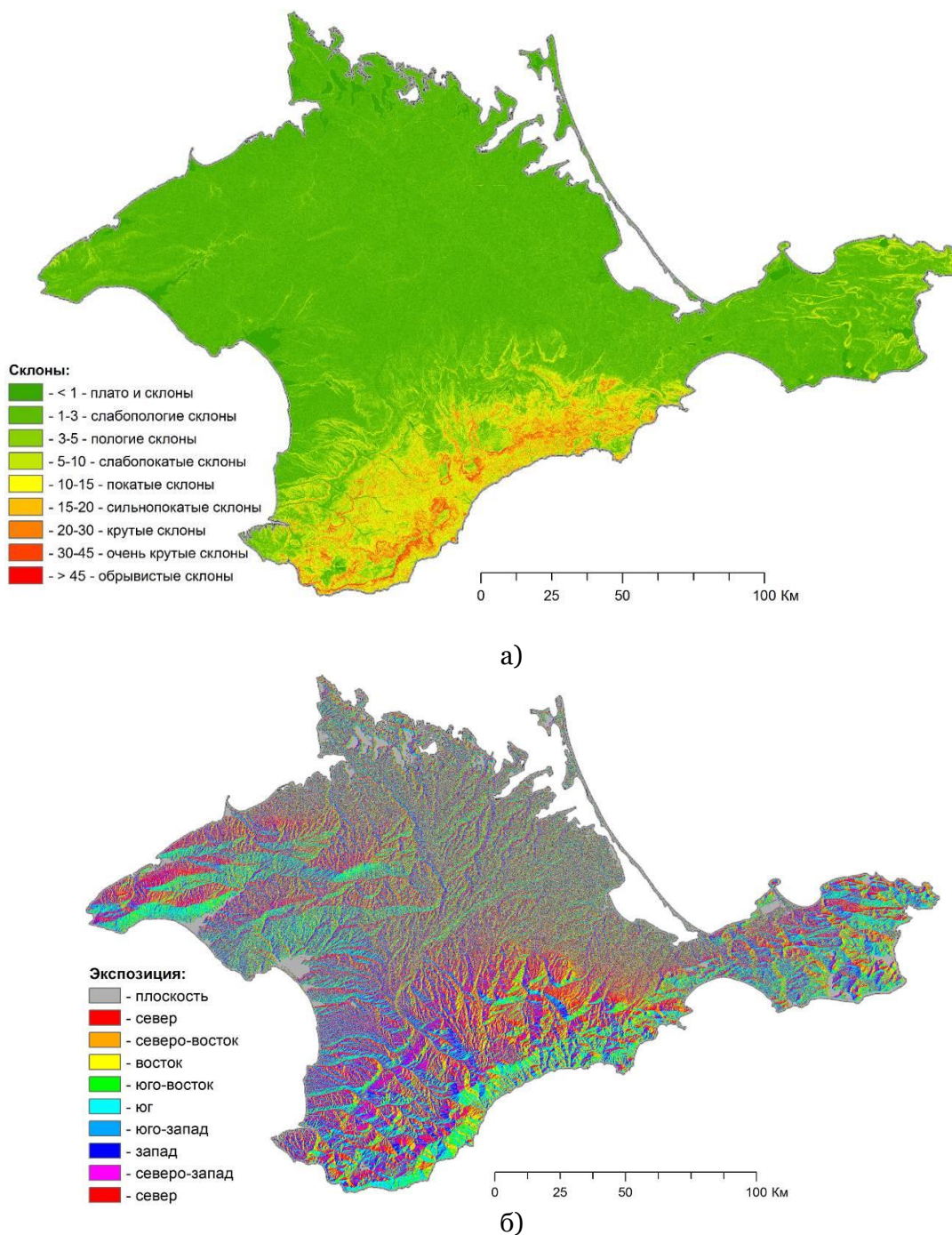


Рис. 2. Пространственная модель распределения склонов по уклонам (а) и экспозиция (б) на территории Крыма

Территории с крутизной склона меньше 3° (табл. 1) составляют $19474,7 \text{ км}^2$ (72,13 % от всей площади Крымского полуострова), причем основная их часть (95 %) занята сельскохозяйственными землями, которые по состоянию на 1 января 2014 г. занимали площадь $18533,0 \text{ км}^2$, в том числе сельскохозяйственные угодья – 17925 км^2 , из них: пашня – 12715 км^2 , пастбища – $4327,2 \text{ км}^2$, сенокосы – 20 км^2 , многолетние насаждения – $757,4 \text{ км}^2$ и залежи – $105,4 \text{ км}^2$. Территории с крутизной склона от 3° до 10° составляют – $4856,9 \text{ км}^2$ (17,99 %), от 10° и более – $2668,4$ (9,88 %). Одним из основных морфометрических показателей склонов является их экспозиция, характеризующая теплообеспеченность за счет солнечной энергии, что влияет на большинство видов хозяйственной деятельности, процессы эрозии и почвообразования. На территории Крыма площади с различной экспозицией склонов достаточно равномерно распределены (10,74–13,25 %) с

незначительным преобладанием площади территории северных склонов (табл. 1). Почвы на склонах южной экспозиции занимают 11,60 % от общей площади Крыма, они подвержены более интенсивному смыву в результате снеготаяния и весенних ливневых дождей.

Таблица 1. Морфометрическая характеристика рельефа Крыма

Крутизна склона			Экспозиция склона		
Градация, °	Площадь, км ²	% к общей площади	Градация	Площадь, км ²	% к общей площади
<1	5865,0	21,72	плато	1301,3	4,82
1–3	13609,7	50,41	север	3577,5	13,25
3–5	2860,9	10,60	северо-восток	3187,7	11,81
5–10	1996,0	7,39	восток	3128,3	11,59
10–15	1175,6	4,35	юго-восток	2899,1	10,74
15–20	740,9	2,74	юг	3133,0	11,60
20–30	595,1	2,20	юго-запад	2963,2	10,97
30–45	145,8	0,54	запад	3370,1	12,48
> 45	11,0	0,04	северо-запад	3439,8	12,74
Площадь	27000	100	–	27000	100

Картина распределения значений годового радиационного баланса (R , МДж/м²) по территории была получена с учетом морфометрических данных рельефа Крыма (рис. 3а). В результате этого определено, что большая часть территории (89,2 %), в т.ч. все сельскохозяйственные угодья, обеспечена величинами радиационного баланса в диапазоне от 2000 до 2200 МДж/м². Основной составляющей энергетических затрат на почвообразование в районах ведения оросительных мелиораций является сумма осадков (P , мм) и ирригационная оросительная норма (IR , мм), которые формируют суммарное водообеспечение ($\Sigma(P+IR)$, мм) (рис. 3б).

По данным (Лисецкий, Ергина, 2010), к районам, где влага может наиболее полно участвовать в процессе почвообразования в виде эффективных осадков, относится предгорная лесостепь и западная часть южнобережного субсредиземноморья (до 82–88 % от годовой суммы осадков). Эффективные осадки соответствуют годовой сумме осадков за исключением той суммы, которая выпадает в среднемноголетнем режиме в жаркий период (со среднесуточной температурой 20 и больше градусов). Рост температуры воздуха и радиационного баланса в сухостепной зоне предполагает увеличение оросительной норм (IR , мм), но повышение количества осадков по тренд-циклическому сценарию обуславливает формирование положительного тренда в изменении энергетических затрат на почвообразование. Это позволило в последние 25 лет сократить энергию оросительной мелиорации в 2,7 раза (Lisetskii, Pichura, 2016). За период 1960–2009 гг. сумма годовых осадков распределялась по территории Крыма от 400 на севере полуострова до 1130 мм на юге (рис. 3б). При этом суммарное водообеспечение ($\Sigma(P+IR)$, мм) на орошаемых землях варьирует в пределах 600–700 мм, что обеспечило увеличение площади с суммарным значением водообеспечения более 600 мм на 12,0 % и повышение энергетических затрат на почвообразование (Q_{P+IR}) в среднем за годовой период на 347 МДж/м² (до 1310 МДж/м²). Средние значения суммарной величины затрат энергии на почвообразование за период 1960–2009 гг. на территории Крыма дифференцированы: на орошаемых землях – 1190–1380 МДж/м², на неорошаемых – 940–1080 МДж/м².

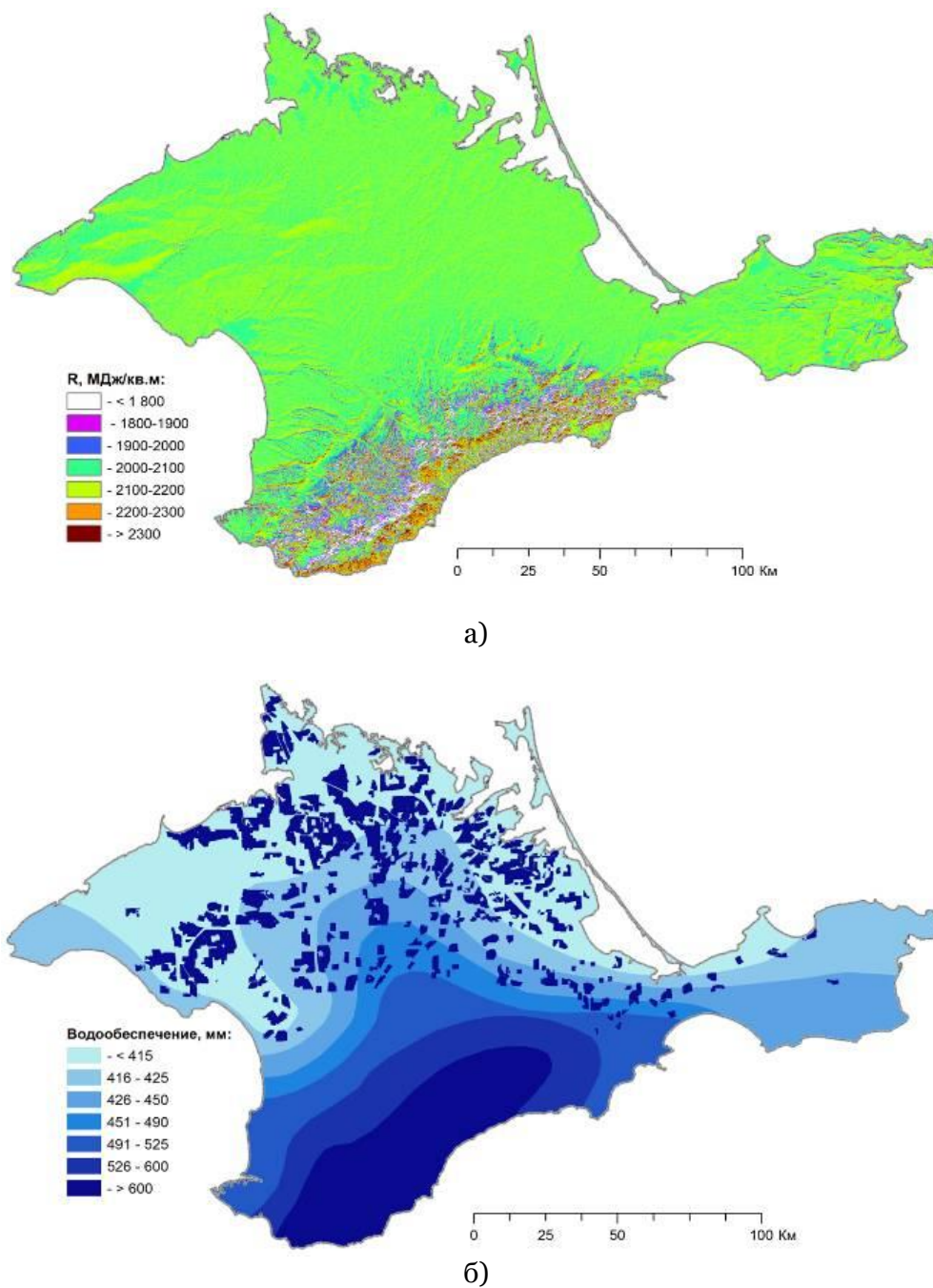


Рис. 3. Климатические составляющие почвообразовательного процесса:
 а) радиационный баланс (R , МДж/м²); б) суммарное водообеспечение ($\Sigma(P+IR)$, мм – осадки + орошение)

Территориальное распределение величин энергетических затрат на почвообразование (Q) и доли гранулометрической фракции физической глины ($< 0,01$ мм; PC , %) позволило определить обусловленность закономерностей формирования мощности гумусового горизонта почв (H_{lim} , мм) Крымского полуострова. Для этого использована ранее (Lisetskii, Chepelev, 2014; Lisetskii, Pichura, 2016) установленная зависимость в виде:

$$H_{lim} = \frac{3914.6 \cdot PC^{-0.19}}{1 + e^{(5.346 - 0.00523 \cdot Q)}}$$

В результате расчетов было получено два сценария распределения площадей с различной мощностью гумусового горизонта (табл. 2) – без орошения ($H_{lim(P)}$), которое обусловлено только климатическими условиями, и при орошении ($H_{lim(P+IR)}$), под суммарным воздействием климатически-хозяйственных факторов. Хозяйственное воздействие на сельскохозяйственные угодья выражено в энергетике оросительных мелиораций (Q_{IR}). Ситуационное моделирование показало, что с введением ирригационных мероприятий в Крыму площадь агроландшафтов с потенциальным формированием мощности гумусового профиля больше 1000 мм увеличилась в 450 раз (с 20,4 до 9012,5 км²). Величина предельной мощности гумусового горизонта почв (H_{lim}) колеблется в широких пределах (рис. 4), составляя в среднем на неорошаемых землях $H_{lim(P)}$ – 1015 мм (680–1350 мм), на орошаемых ($H_{lim(P+IR)}$) – 1530 мм (1460–1600 мм). Значительное увеличение H_{lim} на орошаемых землях при сохранении традиционной парадигмы ирригации приводит к повышению движущей силы процесса выщелачивания, переносу органических веществ по профилю в нижние труднодоступные растениям почвенные горизонты и, как следствие, снижению эффективности культуры земледелия и плодородия верхнего слоя почв, в первую очередь, легкого и среднего гранулометрического состава.

Таблица 2. Распределение площади с предельной мощностью гумусового горизонта почв (H_{lim}) Крыма

Значение H_{lim} , мм	Без орошения ($H_{lim(P)}$)		При орошении ($H_{lim(P+IR)}$)		$H_{lim(P+IR)} - H_{lim(P)}$, %
	Площадь, км ²	% к общей площади	Площадь, км ²	% к общей площади	
< 700	2130,5	9,18	1129,3	4,87	-4,3
700–800	11215,4	48,34	8103,0	34,93	-13,4
800–900	3155,1	13,6	2881,9	12,42	-1,2
900–1000	2052,3	8,85	2073,4	8,94	0,1
1000–1100	1614,6	6,96	1877,6	8,09	1,1
1100–1200	1656,2	7,14	1997,2	8,61	1,5
1200–1300	871,4	3,76	1265,6	5,45	1,7
1300–1400	303,3	1,31	815,9	3,52	2,2
1400–1500	160,5	0,69	2037,0	8,78	8,1
> 1500	40,7	0,18	1019,2	4,39	4,2
Площадь	2320	100	27000	100	–

На основных почвах равнинного Крыма, занятых под сельскохозяйственными угодьями, в северо-восточной части полуострова, где преобладают темно-каштановые почвы, величина H_{lim} может достигать в пределе на неорошаемых землях 680–760 мм, на орошаемых – 1460–1570 мм; в зоне южных черноземов – соответственно 710–1020 и 1420–1550 мм, в зоне распространения черноземах остаточно-карбонатных – 700–1340 и 1490–1600 мм.

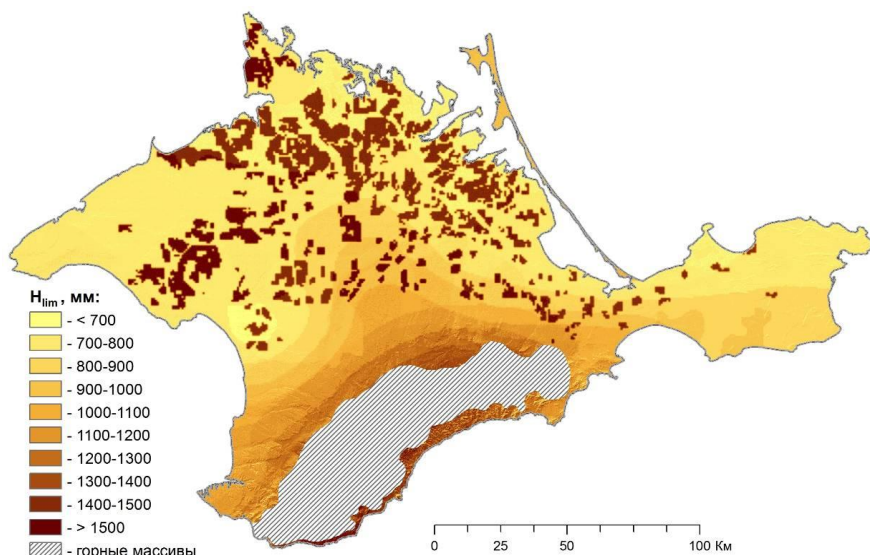


Рис. 4. Распределение расчетной за период 1960–2009 гг. величины предельной мощности гумусового горизонта почв (H_{lim} , мм) в пределах орошаемых и неорошаемых агроландшафтов Крыма

Согласно моделям пространственного распределения величин Q и H_{lim} , наиболее благоприятные условия для реализации почвообразовательного процесса создаются в зоне южных и остаточно-карбонатных черноземов. Но наряду с высокой сельскохозяйственной освоенностью территории Крыма, распаханность земель превышает 70 % при отклонениях по хозяйствам в пределах 50–90 %, на больших территориях наблюдается развитие вторичных деградационных процессов, таких как, дефляция, водная эрозия, дегумификация, загрязнение балластными компонентами удобрений, остаточными количествами ядохимикатов и прочее. География природных (первичных) и природно-антропогенных (вторичных) негативных процессов представлена на [рис. 5](#).

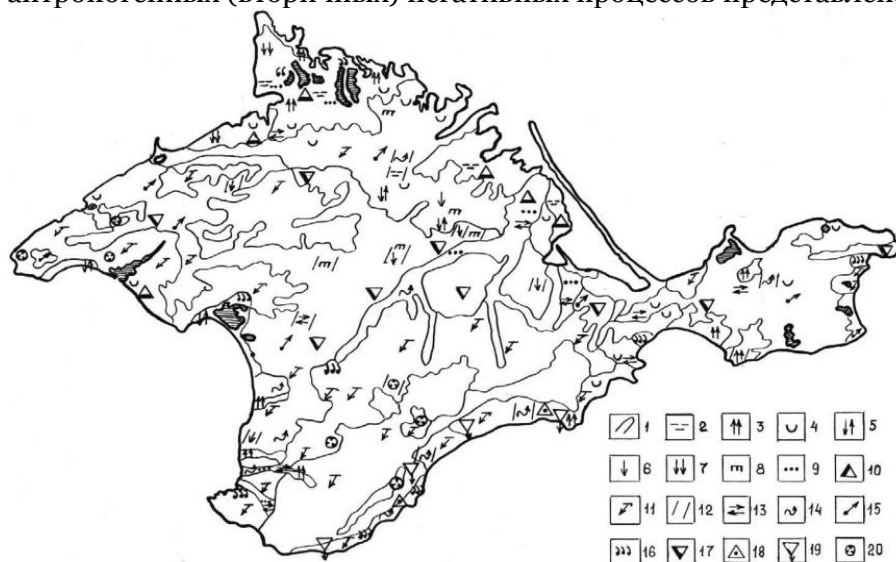


Рис. 5. География негативных процессов в почвенном покрове Крыма ([Драган, 2005](#)): 1 – границы почвенных ареалов; негативные почвенные процессы: 2 – подтопление; 3 – вторичное засоление; 4 – осолонцевание; 5 – содопроявление; 6 – вынос водорастворимых соединений при орошении; 7 – осолодение; 8 – коркообразование; 9 – кольматаж; 10 – оглеение; 11 – эрозия; 12 – локальное проявление процесса; 13 – слитизация; 14 – нарушение профиля почв; 15 – дефляция; 16 – химическое загрязнение; 17 – дегумификация; 18 – погребение почв селями; 19 – оползни; 20 – вторичный карст.

Распашка земель способствовала проявлению дефляционных и эрозионных процессов. Дефляция охватывает почти половину (49 %) пахотных земель Крымского полуострова. Антропогенная деградация почвенного покрова свойственна далеко не только лишь почвам Крыма (Zinchenkou et al., 2013).

4. Заключение

Территориальное распределение величин климатически-хозяйственных энергетических затрат на почвообразование позволило определить природно-антропогенную обусловленность формирования предельной мощности гумусового горизонта почв на территории Крыма. По усредненным климатическим данным, а также на основании учета площади орошаемых земель за период 1960–2009 гг., была определена вариация формирования гумусового предельной мощности гумусового горизонта в пределах 680–1600 мм: на неорошаемых землях – 680–1350 мм, орошаемых – 1460–1600 мм. На основных почвах равнинного Крыма, занятых сельскохозяйственными угодьями, мощность гумусового горизонта увеличивается с северо-востока на юго-запад в 1,4 раза на неорошаемых землях и на орошаемых – в 1,02 раза. В зоне экстенсивное ведение хозяйственной деятельности без внедрения рациональных научно-обоснованных почвоводоохранных мероприятий зачастую приводит к широкомасштабному проявлению дефляционных и эрозионных процессов. В то же время происходит значительный непроизводительный расход влаги из почвы на испарение и избыточную транспирацию при высокой влажности почвы, что в зоне оросительных мелиораций при близком уровне залегания минерализованных грунтовых вод, нарушении эксплуатации ирригационных и дренажных систем приводит к значительному повышению риска проявлений процессов вторичного засоления, осолонцевания и слитизации почв. Характерно, что среднее значение суммарной величины затрат энергии на почвообразование за период 1960–2009 гг. на территории Крыма больше на орошаемых землях – 1190–1380 МДж/м², чем на неорошаемых – 940–1080 МДж/м². Представленный подход и результаты геомоделирования распределения климатически-хозяйственной энергии на почвообразование в степных и сухостепных агроландшафтах обеспечивает возможность дифференцировано управлять ирригационными процессами для оптимизации рационального использования воды в почве и повышения противоэрозионной устойчивости агроландшафтов. Развитие комплекса деградационных процессов в почвах Крыма, выявленное в процессе исследований *in situ* и геомоделирования свидетельствует о том, что природно-территориальные комплексы Крыма пребывают в состоянии стагнации, неприемлемой с точки зрения развития идей природоподобия технологий биосферы, биосферологии, здоровья почвы (Semenov, Sokolov, 2016).

Конструирование принципиально новых почв с развитой дисперсностью внутреннего слоя даст возможность синтезировать приоритетную для развития корневой системы структуру почвы. Это позволит снизить суммарную величину затрат энергии на почвообразование, обеспечить устойчивый вектор эволюции высокоплодородной почвы (Калиниченко и др., 2014; Kalinitchenko et al., 2016).

Вместо стандартной парадигмы ирригации, результаты применения которой во всем мире следует признать неудовлетворительными (Yuan et al., 2014; Wood, 2014; Devineni et al., 2015; Wu et al., 2013; Molle et al., 2012; Воеводина, 2011), необходимо резкое сокращение водопотребления, исключение режима просачивания воды внутрь, тем более, сквозь почву, уменьшение потерь воды, сокращение ирригационной деградации почв. Актуальна стабилизация геохимических барьеров в почве и зоне аэрации (Batukaev et al., 2016). Это позволяет преодолеть импульсная внутрипочвенная континуально-дискретная парадигма ирригации и соответствующий способ увлажнения почвы (Калиниченко и др., 2014).

В процессе конструирования и эксплуатации новых почв необходим расширенный дисперсный возврат вещества внутрь дисперсной системы почвы в процессе внутрипочвенной механической обработки и внутрипочвенного импульсного увлажнения, в том числе рециклинг отходов, что обеспечит оптимизацию геохимического цикла вещества и его расширенное использование для прироста производства свежего биологического вещества агрофитоценозов и почвы (Starcev, Kalinichenko, 2015; Kalinitchenko, 2016).

Для адекватного свойствам агроландшафтов Крымского полуострова, его климату и хозяйственной деятельности (в том числе, ирригационной нагрузке), сложившемуся пространственному распределению энергетических затрат на почвообразование и формирование мощности гумусового горизонта, управлению геологическим и биологическим круговоротом вещества и энергии, почвообразовательным процессом необходимо применять методы биogeосистемотехники (Калиниченко, 2012).

5. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-50018_мол_нр.

Литература

Воеводина, 2011 – Воеводина Л.А. Влияние переполивов при капельном орошении на мелиоративное состояние земель. // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / Под ред. В.Н. Щедрина. Новочеркасск: Геликон, Вып. 45. 2011. С. 49–56.

Волобуев, 1974 – Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. М.: Наука, 1974. 126 с.

Докучаев, 1936 – Докучаев В.В. Русский чернозем / Отчет вольному экономическому обществу. М.–Л.: Полиграфкнига, 1936. 550 с.

Драган, 2005 – Драган Н.А. Эволюция почвенного покрова Крыма как результат экогеодинамических процессов // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2005. Вып. 1. С. 59–71.

Калиниченко, 2012 – Калиниченко В.П. Биogeосистемотехника как гносеологическая основа управления экосистемами // Живые и биокосные системы. Декабрь 2012. Вып. 1. <http://www.jbks.ru/archive/issue-1/article-3>.

Калиниченко и др., 2014 – Калиниченко В.П., Шаршак В.К., Миронченко С.Ф., Черненко В.В., Ладан Е.П., Генева Е.Д., Илларионов В.В., Удалов А.В., Удалов В.В., Киппель Е.В. Изменение свойств почв солонцового комплекса через 30 лет после мелиоративных обработок // Почвоведение, 2014, №4, С. 490–506. DOI: 10.7868/S0032180X14040029.

Калиниченко и др., 2014а – Калиниченко В.П., Ендовицкий А.П., Минкина Т.М., Скуратов Н.С., Ильин В.Б., Ким В.Ч.Д. Управление геохимическими процессами в орошаемых почвах на технологической платформе ноосферы // Природообустройство, 2014, № 3, С. 6–11.

Костычев, 1949 – Костычев П.А. Почвы чернозёмной области России: их происхождение, состав и свойства. М.: Сельхозгиз, 1949. 239 с.

Кузьменко, 2012 – Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Пичура В.И. Оценка и прогнозирование стока малых рек в условиях антропогенных воздействий и изменений климата // Современные проблемы науки и образования, 2012, № 6, С. 1–9.

Лисецкий, 2013 – Лисецкий Ф.Н., Столба В.Ф., Пичура В.И. Периодичность климатических, гидрологических процессов и озерного осадконакопления на юге Восточно-Европейской равнины // Проблемы региональной экологии. М., 2013. № 4. С. 19–25.

Лисецкий, Ергина, 2010 – Лисецкий Ф.Н., Ергина Е.И. Развитие почв Крымского полуострова в позднем голоцене // Почвоведение. 2010, № 6, С. 643–657.

Лисецкий, Чепелев, 2003 – Лисецкий Ф.Н., Чепелев О.А. Климатическая обусловленность почвообразования в Центральном Черноземье // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: география и геоэкология, 2003, № 2, С. 15–23.

Пичура, 2014 – Пичура В.И., Лисецкий Ф.Н., Павлюк Я.В. Вековое изменение устойчивости агроландшафтов в зоне оросительных мелиораций сухостепной зоны (на примере юга Херсонской области) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2014. Т. 28. № 17 (188). С. 140–147.

Семиохин и др., 1995 – Семиохин И.А., Страхов В.Б., Осипов А.И. Кинетика химической реакции: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1995. 351 с.

[Aziz, 2014](#) – Aziz K., Rahman A., Fang G., et al. (2014). Application of artificial neural networks in regional flood frequency analysis: a case study for Australia. *Stoch Environ Res Risk Assess.* Vol. 28. pp. 541–554. DOI 10.1007/s00477-013-0771-5.

[Batukaev et al., 2016](#) – Batukaev A.A., A.P. Endovitsky, A.G. Andreev, V.P. Kalinichenko, T.M. Minkina, Z.S. Dikaev, S.S. Mandzhieva, and S.N. Sushkova (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink. *Solid Earth.* N 7. Is. 2. pp. 415–423, DOI:10.5194/se-7-415-2016.

[Dawson, 2001](#) – Dawson C.W. and Wilby R.L. (2001). Hydrological modelling using artificial neural networks. *Progress in Physical Geography.* Vol. 25. N 1. pp. 80–108.

[Devineni et al., 2015](#) – Devineni N, U Lall, E Etienne, D Shi, C Xi. America's water risk: Current demand and climate variability. *Geophysical Research Letters*, 2015. Vol. 42. Is. 7. pp. 2285–2293.

[Ji et al., 2013](#) – Ji Z., Li N., Xie W., et al. (2013). Comprehensive assessment of flood risk using the classification and regression tree method. *Stoch Environ Res Risk Assess.* N 27. pp. 1815–1828.

[Kalinitchenko, 2016](#) – Kalinitchenko V.P. (2016). Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review). *International Journal of Environmental Problems.* Vol. (3). Is. 1. pp. 58–85. DOI: 10.13187/ijep.2016.3.58.

[Kalinitchenko et al., 2016](#) – Kalinitchenko V., A. Batukaev, A. Zarmaev, V. Startsev, V. Chernenko, Z. Dikaev, S. Sushkova (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate. EGU General Assembly. Vienna, *Geophysical Research Abstracts.* Vol. 18, EGU2016–3419, 2016.

[Kim et al., 2014](#) – Kim S., Kim B., Jun H., et al. (2014). Assessment of future water resources and water scarcity considering the factors of climate change and social–environmental change in Han River basin, Korea. *Stoch Environ Res Risk Assess.* N 28. pp. 1999–2014.

[Lisetskii et al., 2014](#) – Lisetskii F.N., Pavlyuk Ya.V., Kirilenko Zh.A., Pichura V.I. (2014). Basin organization of nature management for solving hydroecological problems. *Russian Meteorology and Hydrology.* 2014. V. 39. N 8. pp. 550–557. DOI: 10.3103/S106837391408007X.

[Lisetskii, Chepelev, 2014](#) – Lisetskii F., Chepelev O. (2014). Quantitative substantiation of pedogenesis model key components. *Advances in Environmental Biology.* V. 8. N^o 4. pp. 996–1000.

[Lisetskii, Pichura, 2016](#) – Lisetskii F., Pichura V. (2016). Steppe ecosystem functioning of east european plain under age-long climatic change influence. *Indian Journal of Science and Technology.* Vol. 9 (18). pp. 1–9.

[Lisetskii, Pichura, 2016a](#) – Lisetskii F.N., Pichura V.I. (2016). Assessment and forecast of soil formation under irrigation in the steppe zone of Ukraine. *Russian Agricultural Sciences.* N^o 2. pp. 154–158.

[Molle et al., 2012](#) – Molle B., Tomas S., Hendawi M. and Granier J. (2012). Evaporation and wind drift losses during sprinkler irrigation influenced by droplet size distribution. *Irrigation and Drainage.* Vol. 61. Is. 3. pp. 240–250.

[Okolelova et al., 2015](#) – Okolelova A.A., Rachimova N.A., Egorova G.S., Kasterina N.G., Zaikina V.N. (2015). Influence of Hydrogels on Productivity of Light-brown Soils. *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (2). Is. 2. pp. 117–135. DOI: 10.13187/ijep.2015.2.117.

[Pichura, 2015](#) – Pichura V.I., Pilipenko Yu.V., Lisetskiy F.N., Dovbysh O.E. (2015). Forecasting of Hydrochemical Regime of the Lower Dnieper Section using Neurotechnologies. *Hydrobiological Journal.* Vol. 51. N 3. pp. 100–110.

[Rasmussen, Tabor, 2007](#) – Rasmussen, C., Tabor N. J. (2007). Applying a quantitative pedogenic energy model across a range of environmental gradients. *Soil Science Society of America Journal.* Vol. 71. N 6. pp. 1719–1729.

[Semenov, Sokolov, 2016](#) – Semenov A., Sokolov MS (2016). The concept of soil health: fundamental and applied aspects of the evaluation criteria. *Agrochemistry.* N 1. pp. 3–16.

[Sokolov, Glazko, 2015](#) – Sokolov M.S., Glazko V.I. (2015). The Discoverer of the Law "of Diminishing Returns", the Doctrine of Self-regulation and Self-development of Healthy Soil. *International Journal of Environmental Problems.* Vol. (2). Is. 2. pp. 78–96. DOI: 10.13187/ijep.2015.2.78.

Starcev, Kalinichenko, 2015 – Starcev V.F., Kalinichenko V.P. (2015). Utilization of Biological Waste by Biogeosystem Technics Method. *International Journal of Environmental Problems*. Vol. (2). Is. 2. pp. 166–182. DOI: 10.13187/ijep.2015.2.166.

Wood, 2014 – Wood Eric F. (2014). The Challenges of Developing a Framework for Global Water Cycle Monitoring and Predicting. *Alfred Wegener Medal Lecture. EGU General Assembly 2014*. Wednesday, 30, April.

Wu et al., 2013 – Wu ZD, Lall U, Zhao M (2013). A Worldwide Comparison of Water Use Efficiency of Crop Production. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 275. pp. 2718–2722.

Yuan et al., 2014 – Yuan, X., E. F. Wood, and M. Liang. Integrating weather and climate prediction: towards seamless hydrologic forecasting. *Geophys. Res. Lett.*, 2014. DOI: 10.1002/2014GL061076.

Zinchenkou et al., 2013 – Zinchenkou V.E., Lokhmanova O.I., Kalinichenko V.P., Glukhov A.I., Povkh V.I., Shljakhova L.A. (2013). Space monitoring of agricultural lands in southern Russia. *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*. Vol. 49. Is. 9. pp. 1036–1046. DOI: 10.1134/S0001433813090168.

References

Voevodina, 2011 – Voevodina L.A. (2011). Vliyanie perepolivov pri kapel'nom oroshenii na meliorativnoe sostoyanie zemel' [Effect of excessive watering under the drip irrigation on the soil melioration conditions]. // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya: sb. st. FGNU «RosNIIPM» / Pod red. V. N. Shchedrina. Novocherkassk: Gelikon, Vyp. 45. S. 49–56.

Volobuev, 1974 – Volobuev V.R. (1974). Vvedenie v energetiku pochvoobrazovaniya [Introduction to Energetics of Soil Formation]. M.: Nauka, 126 s.

Dokuchaev, 1936 – Dokuchaev V.V. (1936). Russkii chernozem / Otchet vol'nomu ekonomicheskomu obshchestvu [Russian black earth / Report to Free Economic Society]. M.–L.: Poligrafkniga, 550 s.

Dragan, 2005 – Dragan N.A. (2005). Evolyutsiya pochvennogo pokrova Kryma kak rezul'tat ekogeodinamicheskikh protsessov [Evolution of the soil cover of Crimea as a result of ecogeodynamic processes] // *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. Vyp. 1. S. 59–71.

Kalinichenko, 2012 – Kalinichenko V.P. (2012). Biogeosistemotekhnika kak gnoseologicheskaya osnova upravleniya ekosistemami [Biogeosystem technique as an epistemological framework for ecosystems managing]. *Zhivye i biokosnye sistemy*. Vyp. 1. <http://www.jbks.ru/archive/issue-1/article-3>.

Kalinichenko i dr., 2014 – Kalinichenko V.P., Sharshak V.K., Mironchenko S.F., Chernenko V.V., Ladan E.P., Genev E.D., Illarionov V.V., Udalov A.V., Udalov V.V., Kippel' E.V. (2014). Izmenenie svoystv pochv solontsovogo kompleksa cherez 30 let posle meliorativnykh obrabotok [Changes in the properties of soils in a solonetz soil complex thirty years after reclamation]. *Pochvovedenie*. №4. S. 490–506. DOI: 10.7868/S0032180X14040029.

Kalinichenko i dr., 2014a – Kalinichenko V.P., Endovitskii A.P., Minkina T.M., Skuratov N.S., Il'in V.B., Kim V.Ch.D (2014). Upravlenie geokhimicheskimi protsessami v oroshaemykh pochvakh na tekhnologicheskoi platforme noosfery [Management of geochemical processes in irrigated soils on the technology platform of the noosphere]. *Prirodoobustroistvo*. № 3. S. 6–11.

Kostychev, 1949 – Kostychev P.A. (1949). Pochvy chernozemnoi oblasti Rossii: ikh proiskhozhdenie, sostav i svoystva [Soils of the black earth region of Russia: their origin, composition and properties]. M.: Sel'khozgiz, 239 s.

Kuz'menko, 2012 – Kuz'menko Ya.V., Lisetskii F.N., Pichura V.I. (2012). Otsenka i prognozirovaniye stoka malykh rek v usloviyakh antropogennykh vozdeistvii i izmenenii klimata [Assessing and forecasting the runoff of small rivers under the conditions of anthropogenic impacts and climate change]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. № 6. S. 1–9.

Lisetskii, 2013 – Lisetskii F.N., Stolba V.F., Pichura V.I. (2013). Periodichnost' klimaticheskikh, gidrologicheskikh protsessov i ozernogo osadkonakopleniya na yuge Vostochno-Evropeiskoi ravniny [Frequency of climatic, hydrological processes and lake sedimentation in the south of the East European Plain]. *Problemy regional'noi ekologii*. № 4. S. 19–25.

Lisetskii, Ergina, 2010 – Lisetskii F.N., Ergina E.I. (2010). Razvitie pochv Krymskogo poluostrova v pozdnem golotsene [Soil development on the Crimean peninsula in the Late Holocene]. *Pochvovedenie*. № 6. S. 643–657.

Lisetskii, Chepelev, 2003 – Lisetskii F.N., Chepelev O.A. (2003). Klimaticheskaya obuslovlennost' pochvoobrazovaniya v Tsentral'nom Chernozem'e [Climatic conditionality of soil formation in the Central Black Earth Zone]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: geografiya i geoekologiya*. № 2. S. 15–23.

Pichura, 2014 – Pichura V.I., Lisetskii F.N., Pavlyuk Ya.V. (2014). Vekovoe izmenenie ustoichivosti agrolandshtaftov v zone orositel'nykh melioratsii sukhostepnoi zony (na primere yuga Khersonskoi oblasti) [Secular changes in agricultural landscapes stability in the area of irrigation reclamation of the dry steppe zone (by the example of the south of the Kherson region)]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. T. 28. № 17 (188). S. 140–147.

Semiokhin i dr., 1995 – Semiokhin I.A., Strakhov V.B., Osipov A.I. (1995). Kinetika khimicheskoi reaktsii [Kinetics of chemical reactions: Training manual]: Ucheb. posobie. M.: Izd-vo MGU, 351 s.

Aziz, 2014 – Aziz K., Rahman A., Fang G., et al. (2014). Application of artificial neural networks in regional flood frequency analysis: a case study for Australia. *Stoch Environ Res Risk Assess*. Vol. 28. pp. 541–554. DOI:10.1007/s00477-013-0771-5.

Batukaev et al., 2016 – Batukaev A.A., A.P. Endovitsky, A.G. Andreev, V.P. Kalinichenko, T.M. Minkina, Z.S. Dikaev, S.S. Mandzhieva, and S.N. Sushkova (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink. *Solid Earth*. N 7. Is. 2. pp. 415–423, DOI:10.5194/se-7-415-2016.

Dawson, 2001 – Dawson C.W. and Wilby R.L. (2001). Hydrological modelling using artificial neural networks. *Progress in Physical Geography*. Vol. 25. N 1. pp. 80–108.

Devineni et al., 2015 – Devineni N, Lall U, Etienne E, Shi D, Xi C. (2015). America's water risk: Current demand and climate variability. *Geophysical Research Letters*, Vol. 42. Is. 7. pp. 2285–2293.

Ji et al., 2013 – Ji Z., Li N., Xie W., et al. (2013). Comprehensive assessment of flood risk using the classification and regression tree method. *Stoch Environ Res Risk Assess*. N 27. pp. 1815–1828.

Kalinitchenko, 2016 – Kalinitchenko V.P. (2016). Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review). *International Journal of Environmental Problems*. Vol. (3). Is. 1. pp. 58–85. DOI: 10.13187/ijep.2016.3.58.

Kalinitchenko et al., 2016 – Kalinitchenko V., A. Batukaev, A. Zarmaev, V. Startsev, V. Chernenko, Z. Dikaev, S. Sushkova (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate. *EGU General Assembly. Vienna, 2016. Geophysical Research Abstracts*. Vol. 18, EGU2016–3419.

Kim et al., 2014 – Kim S., Kim B., Jun H., et al. (2014). Assessment of future water resources and water scarcity considering the factors of climate change and social–environmental change in Han River basin, Korea. *Stoch Environ Res Risk Assess*. N 28. pp. 1999–2014.

Lisetskii et al., 2014 – Lisetskii F.N., Pavlyuk Ya.V., Kirilenko Zh.A., Pichura V.I. (2014). Basin organization of nature management for solving hydroecological problems. *Russian Meteorology and Hydrology*. V. 39. N 8. pp. 550–557. DOI: 10.3103/S106837391408007X.

Lisetskii, Chepelev, 2014 – Lisetskii F., Chepelev O. (2014). Quantitative substantiation of pedogenesis model key components. *Advances in Environmental Biology*. V. 8. № 4. pp. 996–1000.

Lisetskii, Pichura, 2016 – Lisetskii F., Pichura V. (2016). Steppe ecosystem functioning of east european plain under age-long climatic change influence. *Indian Journal of Science and Technology*. Vol. 9 (18). pp. 1–9.

Lisetskii, Pichura, 2016a – Lisetskii F.N., Pichura V.I. (2016). Assessment and forecast of soil formation under irrigation in the steppe zone of Ukraine. *Russian Agricultural Sciences*. № 2. pp. 154–158.

Molle et al., 2012 – Molle B., Tomas S., Hendawi M. and Granier J. (2012). Evaporation and wind drift losses during sprinkler irrigation influenced by droplet size distribution. *Irrigation and Drainage*. Vol. 61. Is. 3. pp. 240–250.

Okolelova et al., 2015 – Okolelova A.A., Rachimova N.A., Egorova G.S., Kasterina N.G., Zaikina V.N. (2015). Influence of Hydrogels on Productivity of Light-brown Soils. *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (2). Is. 2. pp. 117–135. DOI: 10.13187/ijep.2015.2.117.

Pichura, 2015 – Pichura V.I., Pilipenko Yu.V., Lisetskiy F.N., Dovbysh O.E. (2015). Forecasting of Hydrochemical Regime of the Lower Dnieper Section using Neurotechnologies. *Hydrobiological Journal*. Vol. 51. N 3. pp. 100–110.

Rasmussen, Tabor, 2007 – Rasmussen C., Tabor N.J. (2007). Applying a quantitative pedogenic energy model across a range of environmental gradients. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 71. N 6. pp. 1719–1729.

Semenov, Sokolov, 2016 – Semenov A., Sokolov M.S. (2016). The concept of soil health: fundamental and applied aspects of the evaluation criteria. *Agrochemistry*. N 1. pp. 3–16.

Sokolov, Glazko, 2015 – Sokolov M.S., Glazko V.I. (2015). The Discoverer of the Law "of Diminishing Returns", the Doctrine of Self-regulation and Self-development of Healthy Soil. *International Journal of Environmental Problems*. Vol. (2). Is. 2. pp. 78–96. DOI: 10.13187/ijep.2015.2.78.

Starcev, Kalinichenko, 2015 – Starcev V.F., Kalinichenko V.P. (2015). Utilization of Biological Waste by Biogeosystem Technics Method. *International Journal of Environmental Problems*. Vol. (2). Is. 2. pp. 166–182. DOI: 10.13187/ijep.2015.2.166.

Wood, 2014 – Wood Eric F. (2014). The Challenges of Developing a Framework for Global Water Cycle Monitoring and Predicting. *Alfred Wegener Medal Lecture*. EGU General Assembly 2014. Wednesday, 30, April.

Wu et al., 2013 – Wu ZD, Lall U, Zhao M. (2013). A Worldwide Comparison of Water Use Efficiency of Crop Production. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 275. pp. 2718–2722.

Yuan et al., 2014 – Yuan, X., E.F. Wood, and M. Liang (2014). Integrating weather and climate prediction: towards seamless hydrologic forecasting. *Geophys. Res. Lett.*, DOI: 10.1002/2014GL061076.

Zinchenkou et al., 2013 – Zinchenkou V.E., Lokhmanova O.I., Kalinichenko V.P., Glukhov A.I., Povkh V.I., Shljakhova L.A. (2013). Space monitoring of agricultural lands in southern Russia. *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*. Vol. 49. Is. 9. pp. 1036–1046. DOI: 10.1134/S0001433813090168.

УДК 631.481

Геомоделирование пространственного распределения затрат климатически-хозяйственной энергии на почвообразование в агроландшафтах Крымского полуострова

Виталий Петрович Нестеренко ^{a, *}, Денис Сергеевич Бреус ^a

^a Херсонский государственный аграрный университет, Украина

Аннотация. Представлены результаты ситуационного моделирования пространственного распределения климатически-хозяйственной энергии на почвообразование с учетом морфометрических особенностей рельефа и оценки расчетных значений предельной мощности гумусового горизонта почв в агроландшафтах Крыма для периода 1960–2009 гг. Среднее значение суммарной величины затрат энергии на почвообразование на территории полуострова дифференцировано: на орошаемых землях – 1190–1380 МДж/м², богарных – 940–1080 МДж/м². Ситуационное моделирование показало, что с введением ирригационных мероприятий в Крыму площадь агроландшафтов с потенциалом формирования мощности гумусового профиля больше 1000 мм увеличилась на 18,8%. Величина мощности гумусового горизонта почв при полной реализации

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: vitalynesterenko88@gmail.com (В.П. Нестеренко), brabus73034@rambler.ru (Д.С. Бреус)

энергопотенциала может колебаться в широких пределах и в среднем составлять на богарных землях 1015 мм (680–1350 мм), на орошаемых – 1530 мм (1460–1600 мм). Воздействие природных факторов почвообразования в современных условиях экстенсивного ведения хозяйственной деятельности в большинстве случаев сопровождается широкомасштабным проявлением дефляционных и эрозионных процессов в агроландшафтах. В связи с этим стабилизация почвенно-деградационных процессов может быть обеспечена путем внедрения рациональных научно-обоснованных почвоводоохранных мероприятий.

Ключевые слова: климат, оросительные мелиорации, энергетика, почвообразование, геомоделирование, Крым.