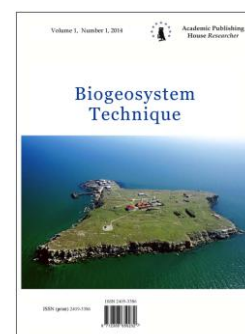


Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
Vol. 4, Is. 2, pp. 172-184, 2015

DOI: 10.13187/bgt.2015.4.172

www.ejournal19.com

UDC 631.41: 528.94: 51-71

Basin Approach to Spatial-Temporal Modeling and Neuroprediction of Potassium Content in Dry Steppe Soils

Vitaly I. Pichura

Kherson State Agricultural University, Ukraine
73006, Kherson, Rosa Luxemburg, 23
PhD (Agricultural), Associate Professor
E-mail: pichura@yandex.ru

Abstract

The study presents the results of systemic application of a basin approach, geoinformation and neurotechnologies for spatial inhomogeneity modeling and prediction of changes in the content of potassium in the steppe and dry steppe zones (the Kherson region of Ukraine as an example). It shows that among the three types of basins coastal and river basins have the least homogeneous structure of soil and granulometric composition. The modeling has determined a general regularity in changes in potassium content in the 0 ... 40 cm deep layer over the past 42 years and shown a continuous process of gradual depletion of potassium in arable soils. Lack of regular and uniform chemical fertilization in required amounts, water erosion, including irrigation-caused erosion, and soil deflation, as well as continual irrigation resulted in potassium content reduction by an average of 18 % (from 442.8 mg/kg to 363.8 mg/kg) in 1970-2012. For 4450 points of observation, spatial and graphical analysis revealed a decrease in variability and a rising quadratic dependence of higher content of potassium in the direction from west to east, and its lower content from south to north. Autocorrelation analysis determined the minimum and maximum radii of typicality of potassium formation: 2.5 ($r = 0.413$) and 12.5 km ($r = 0.170$), respectively. This indicates a significant spatial heterogeneity of potassium distribution both within the boundaries of individual basins and within the contours of various soil types. Using the tools of multivariate statistics the study pioneered in obtaining spatial functions of potassium distribution and availability in the soils of the main basins of the Kherson region (with a correlation of 0.46 and 0.96, respectively). For the first time for the steppe and dry steppe zone, the study, based on geostatistical methods and regression analysis, approximated a linear dependence ($r = 0.83$) of exchangeable potassium and content of physical clay fraction (particles <0.01 mm) in soil texture. As a result of neurotechnological modeling, there was created a three-layer artificial neural network for spatial-temporal modeling of potassium content in the soils. The approximation reliability of the neuromodel is 85–94%. The study predicts an irreversible process of soil potassium depletion on rainfed lands by 1.9 mg/year, and on irrigated lands by 3.1 mg/year by 2025 if the current agricultural practices continue. The research results determine territorial priorities of regional policy allowing the use of differential effectiveness of soil conservation practices in farming systems.

Keywords: soil fertility, potassium content, modeling, prediction, multivariate statistics, GIS technology, neurotechnology.

Введение

В агрохимическом состоянии пахотных почв, объективно и регулярно оцениваемом в результате мониторинга питательных элементов, во многом находят отражение влияния культуры земледелия и агроклиматических условий на состояние и изменения почвенного плодородия. Анализ изменения агрохимических параметров в пространстве и во времени можно рассматривать как ключевую процедуру определения эффективности систем земледелия, особенно в почвозащитном аспекте, и основу для программирования урожая сельскохозяйственных культур [1]. Запасы питательных веществ и их доступность растениям, а также запасы продуктивной влаги находятся в тесной зависимости от природно-климатических условий агроландшафтов (особенностей рельефа, почвообразующих пород, климата, гидрогеологических условий и т.п.) и применяемой системы земледелия, что в итоге определяет величину и качество урожая сельскохозяйственных культур [2–6]. Агрохимические показатели имеют высокую пространственную неоднородность распределения даже в пределах одних почвенных разностей, что является следствием как природных особенностей, так и достигнутого уровня культуры земледелия [7].

Агрохимические вопросы и различные подходы к эффективному ведению эколого-агромелиоративного мониторинга, принципам и особенностям бонитировки, качественной оценки богарных и орошаемых земель, их рационального использования представлены в научных трудах Н.Ф. Тюменцева, С.Н. Тайчинова, В.В. Медведева, С.А. Балюка, В.О. Ушкаренко, С.Ю. Бульгина, М.И. Ромащенко, Ф.Н. Лисецкого, Р.А. Акбирова, Б.М.Н. Гончикова, Ц.Ц. Цыбикдоржиева, В. Caguan, А.М. Mouazen, Т. Talsma, В.Е. Butler, J. Popp, L.E. Jackson, H.A. Torbert, J. Letey и др. ученых [2-23].

Материалы, объекты и методы исследований

Объект исследования – агроландшафты степной и сухостепной зон. *Предмет исследований* – пространственно-временные изменения содержания обменного калия в почвах различных типов бассейнов Херсонской области.

Исследование пространственной неоднородности распределения доступных форм калия и динамики его изменения в почвах Херсонской области проведено для периода продолжительностью 42 года. Моделирование проводили, используя в качестве информационной основы результаты девяти пятилетних туров обследования: со II (1970–1974 гг.) по X тур (2008–2012 гг.). Для оценки содержания обменного калия в пахотных почвах использованы данные по 296 стационарам X тура обследований Херсонского центра «Облгосплодородие». Прогнозирование изменения содержания калия на 2025 г. реализовано на основе данных наблюдений по 25 стационарам (1978–2014 гг.), которые расположены в пределах семи природно-сельскохозяйственных районов. Общее содержание обменного калия в почве было определено для слоя 0–40 см по методу Мачигина.

Бассейновое районирование территории Херсонской области реализовано на основе данных радарной съемки для построения цифровой модели рельефа (ЦМР). Методика автоматизированного бассейнового районирования представлена в работе [24, 25].

Кросс-корреляционные пространственные закономерности содержания калия и гранулометрической фракции физической глины (ФГ, %; <0,01 мм) в почве определены с использованием корреляционно-регрессионного анализа. Пространственная неоднородность формирования калия в пахотных почвах изучена с применением автокорреляционного анализа.

Для прогнозирования пространственно-временного состояния почв по содержанию обменного калия использован метод искусственных нейросетей на основе архитектуры многослойного перцептрона (MLP) [26, 27]. С помощью модуля Statistics Neural Networks (SNN) создана нейромодель архитектуры трехслойного перцептрона с двенадцатью нейронами в скрытом слое, метод обучения: обратное распределение (100 эпох) и связанных градиентов (616 эпох), матрица искусственной нейронной сети состоит из 1800 весовых коэффициентов.

Кросс-проверка прогнозных моделей проведена с использованием статистических критериев оценки достоверности: математическое ожидание ошибки, стандартное отклонение ошибки, математическое ожидание абсолютной ошибки (в натуральных

единицах и процентах – MAPE), значение корреляции [28]. Для объективной оценки ошибки результатов прогнозирования было выполнено разделение временных рядов на обучающие и тестовые (независимые) множества. Пространственное моделирование неоднородности распределения калия проводили с применением метода радиально-базисной функции рабочего модуля Geostatistical Analyst. Для обработки использован лицензированный программный продукт STATISTICA Advanced + QC for Windows v.10 Ru, STATISTICA Automated Neural Networks for Windows v.10 Ru и ArcGis 10.1.

Результаты и обсуждения

Общая площадь Херсонской области составляет 2846,1 тыс. га, из них сельскохозяйственные земли – 1971,0 тыс. га, включая 1777,6 тыс. га пашни (90,2 %). За последние 20 лет (1980–2013 гг.) наблюдалось устойчивое использование земель сельскохозяйственного назначения с небольшой тенденцией к увеличению площадей (на 0,3 %). В области сосредоточено 20 % орошаемых земель Украины, что составляет около 426,8 тыс. га, но фактически используется 285 тыс. га [29].

Бассейновая агроландшафтная пространственно-временная система – это иерархически упорядоченная система, сравнительно однородная по совокупности естественных и измененных человеком природных компонентов, связанная единством генезиса и историей природно-агрогенного развития и имеющая временную определенность в современных режимах гидролого-геохимического функционирования [30, 31]. В регионах с развитыми оросительными мелиорациями общность гидрофункционирования бассейнов обусловлена природно-антропогенными особенностями распределения тепла и влаги. Территория области находится в границах трех типов водосборных бассейнов: речные бассейны (РБ) – 1241,3 тыс. га (35,8 %); бассейны замкнутого поверхностного стока (БЗПС) – 588,3 тыс. га (20,7 %); прибрежный бассейн Черного и Азовского морей (ПБ) – 1016,5 тыс. га (35,6 %).

Калий играет важную роль в жизнедеятельности сельскохозяйственных культур. Он опосредованно участвует в азотном обмене, влияет на накопление аминокислот и энергетические процессы, регулирует дыхание. Наличие различных форм калия в почвах связано с первичными и вторичными минералами, а также с особенностями их превращений. Почвенный покров Херсонской области характеризуется достаточно высокой вариабельностью (36,2 %) содержанием обменного калия в пределах 40–700 мг/кг. Основными типами почв Херсонской области являются черноземы южные, которые занимают 43,7 % от всей площади сельскохозяйственных земель и темно-каштановые почвы (30,7 %). В пределах РБ доминируют черноземы обыкновенные и южные (67,7 %), в ПБ – темно-каштановые и каштановые солонцеватые почвы (71 %), в БЗПС около 80 % занимают южные черноземы.

Валовое содержание калия в почвах зависит в основном от содержания фракции физической глины в гранулометрическом составе почвы [32, 33]. Нами впервые получена визуализация пространственного распределения сельскохозяйственных земель по содержанию физической глины (ФГ, %, частиц <0,01 мм) в разрезе основных бассейнов Херсонской области (табл. 1).

Основными почвами по гранулометрическому составу Херсонской области являются суглинок тяжелый, (36,0 % от всей площади сельскохозяйственных земель), суглинок средний – 32,1 % и суглинок легкий – 21,4 %. В пределах РБ доминируют суглинок средний и легкий (67,9%), в ПБ – суглинок тяжелый и легкий (76,7 %), в БЗПС около 91,4 % занимают суглинки тяжелые и средние.

В результате хозяйственной деятельности содержание подвижных форм калия претерпевает изменения, что определяется интенсивностью и культурой земледелия в границах земельных участков (полей севооборотов) и землепользований.

Таблица 1. Распределение сельскохозяйственных земель по гранулометрической фракции физической глины (< 0,01 мм) в пределах бассейнов Херсонской области

Название почвы по гранулометрическому составу	Содержание ФГ, %	Бассейны						Всего	
		речные		замкнутого поверхностного стока		прибрежный			
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
Песок связный	5-10	23,8	3,1	–	–	0,3	0,03	24,1	1,2
Супесь	10-20	119,0	15,6	–	–	41,8	5,6	160,8	8,2
Суглинок легкий	20-30	207,4	27,2	36,9	7,9	177,5	23,9	421,9	21,4
Суглинок средний	30-45	310,3	40,7	208,8	44,9	112,8	15,2	631,9	32,1
Суглинок тяжелый	45-60	100,7	13,2	216,2	46,5	392,8	52,8	709,7	36,0
Глина легкая	60-75	1,0	0,1	2,9	0,6	18,8	2,5	22,7	1,2
Всего		762,3	100	464,8	100	743,9	100	1971,0	100

По данным мониторинга за период 1970–2012 гг. на территории Херсонской области (рис. 1) закономерности изменения содержания обменного калия в почвах (слое 0...40 см) можно формализовано представить как отрицательное тренд-формирование: $T = -36,87 \cdot \ln(t) + 437,75$; $R^2 = 0,97$. Содержание обменного калия по всем типам бассейнов уменьшилось в среднем на 18 % (с 442,4 мг/кг до 363,8 мг/кг). Различная степень снижения калия в почвах (от 0 до 50%) обусловлена отсутствием регулярного, равномерного и необходимого количества поступления минеральных удобрений, проявлением водной эрозии, включая ирригационную, и дефляции почв, а также результатом длительного орошения.

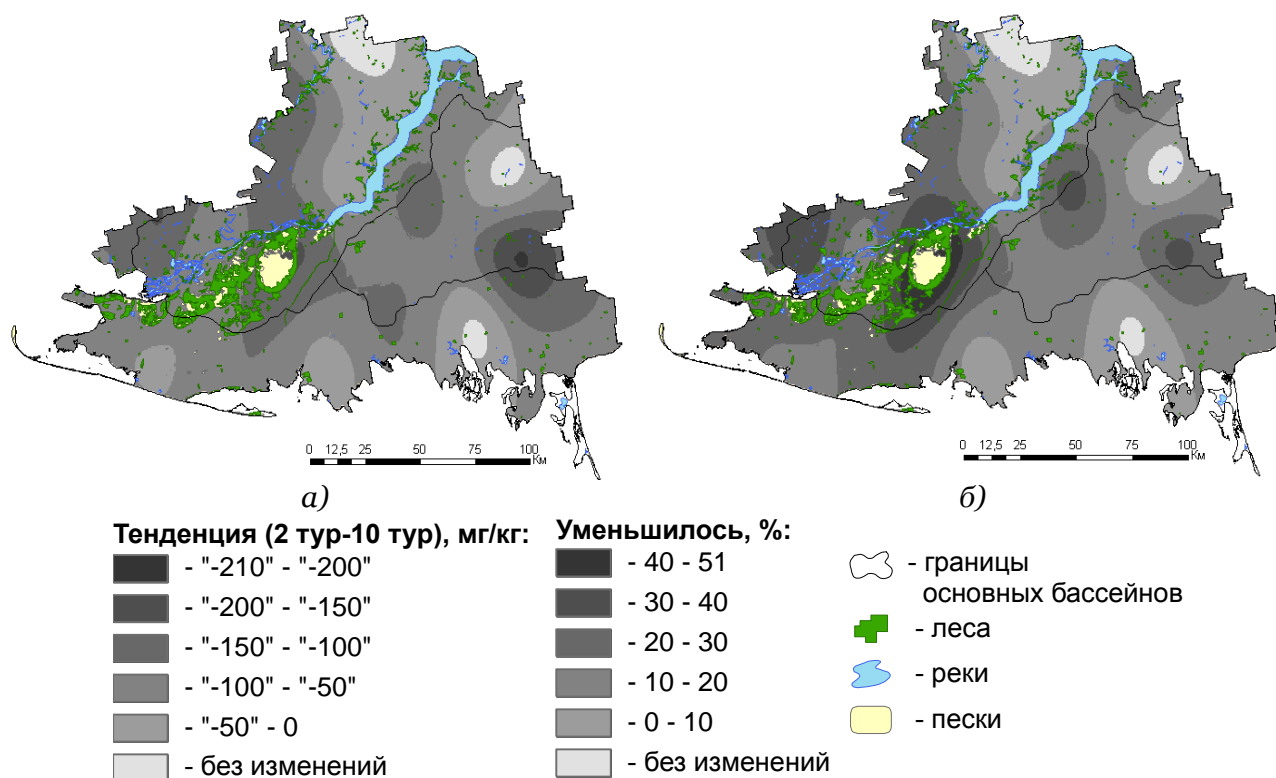


Рис. 1. Изменение содержания обменного калия в почвах и по бассейнам Херсонской области (1970-2012 гг.): а) пространственная тенденция, б) относительное уменьшение, %

Используя результаты по 296 стационарам мониторинговых исследований X-го тура и геостатистические методы, нами создана пространственная модель ($R^2 = 0,96$) современного состояния распределения обменного калия в почвах по основным бассейнам Херсонской области (рис. 2).

Графические и статистические характеристики особенностей пространственной неоднородности распределения калия (рис. 3, 4) изучены, используя созданную нами пространственную растровую модель распределения калия, по результатам выборки данных в 4450 точках на территории области: речной бассейн – 1630 точек, прибрежный бассейн – 1600 точек, бассейн замкнутого поверхностного стока – 1220 точек. Это обеспечило значительное повышение качества интерпретации пространственно-графической информации и результатов моделирования.

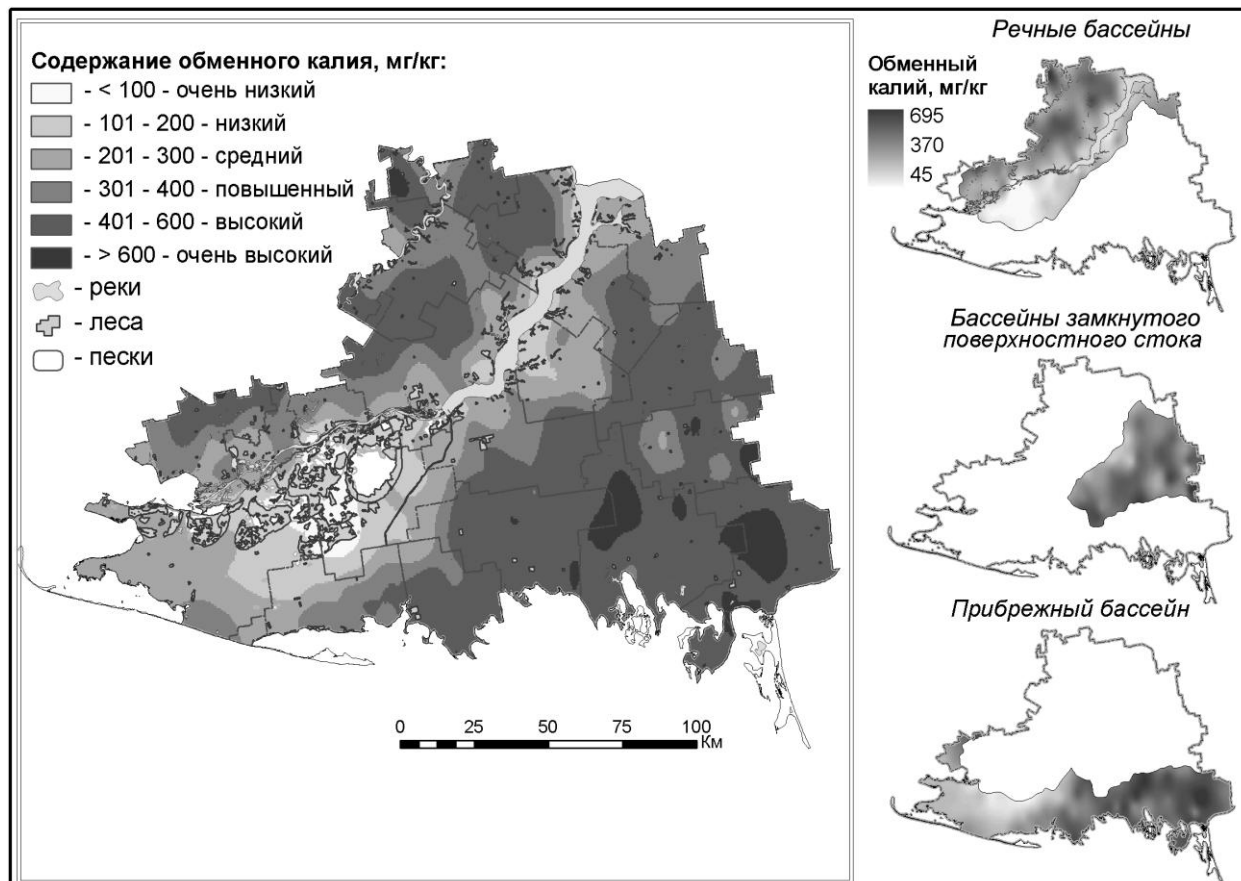
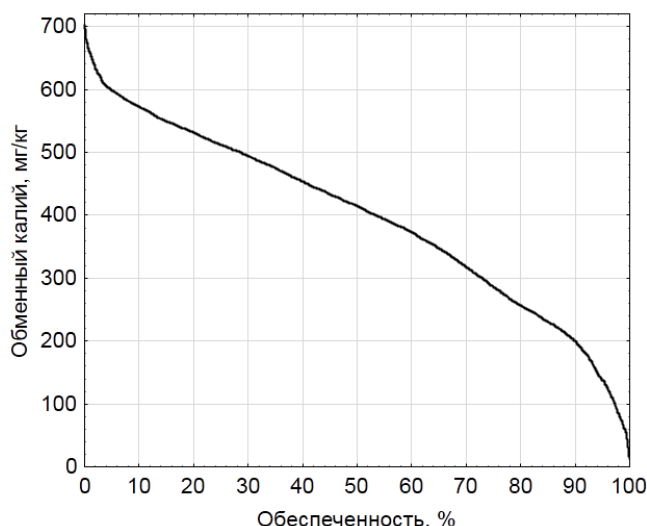


Рис. 2. Распределение содержания обменного калия в почвах и по бассейнам Херсонской области



$$f(h) = \begin{cases} \int_0^{30} -42,95 \cdot \ln(x) + 660,28 \\ \int_{30}^{100} -0,0504 \cdot x^2 + 1,0186 \cdot x + 495,29 \end{cases}$$

$$r = 0,98$$

Рис. 3. Кривая и функция обеспеченности почв Херсонской области обменным калием

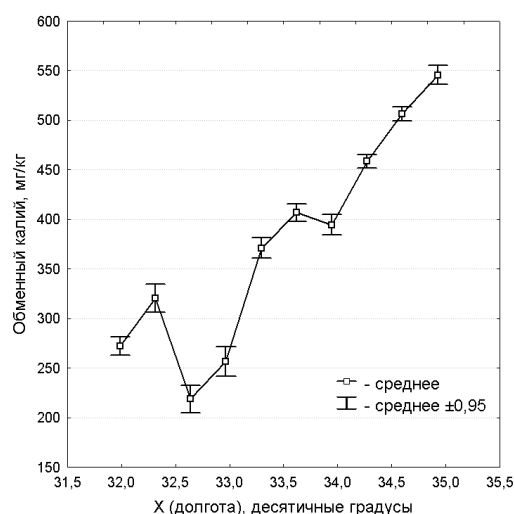
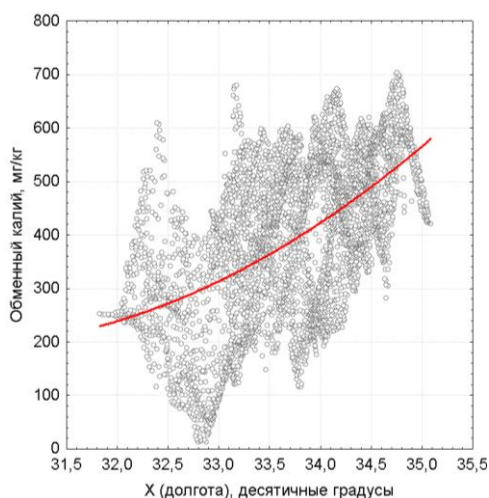
В результате автокорреляционных исследований пространственной типичности формирования обменного калия определены минимальный ($r=0,413$) и максимальный ($r=0,170$) радиус типичности формирования калия, который равен 2,5 км и 12,5 км. Это указывает на значительную пространственную вариабельность (неоднородность) распределения обменного калия, как в границах отдельных бассейнов, так и внутри контуров различных типов (подтипов) почв.

Пространственная функция распределения обменного калия по основным бассейнам Херсонской области имеет вид:

$$f(K_2O) = 9628,88 \cdot x - 3150,26 \cdot y + 11,05 \cdot x^2 - 220,27 \cdot x \cdot y + 112,49 \cdot y^2 - 88216,68 ; R = 0,46$$

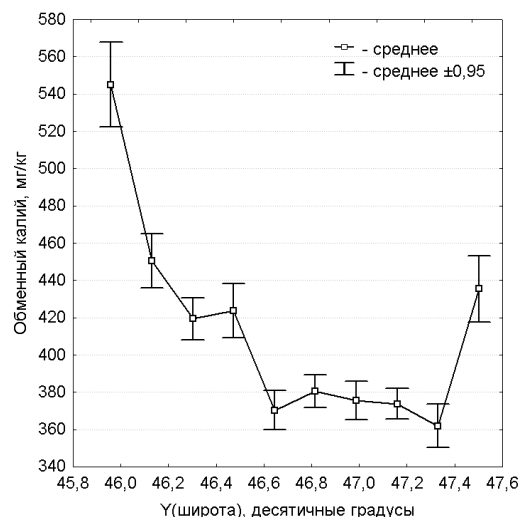
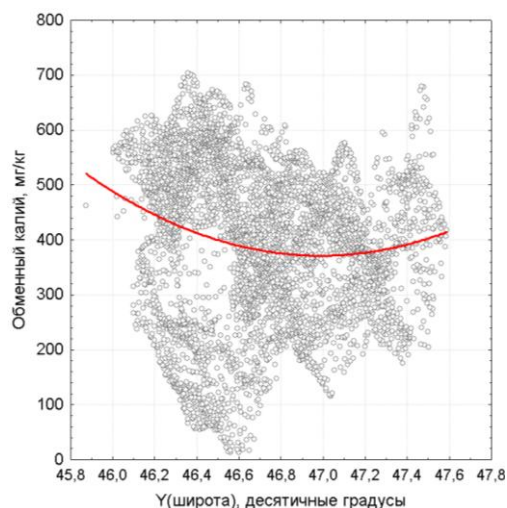
где, x – долгота, десятичные градусы, y – широта, десятичные градусы.

Содержание обменного калия в почвах (табл. 2), которое соответствует качественным градациям от среднего до очень высокого содержания (>200 мг/кг), характеризует 85,8 % площади сельскохозяйственных земель. Наибольший удельный вес сельскохозяйственных земель со средним – очень высоким содержанием обменного калия отмечен в БЗПС – 91,5 % от площади бассейна, в пределах ПБ – 91,0 %, в РБ – 77,0 %.



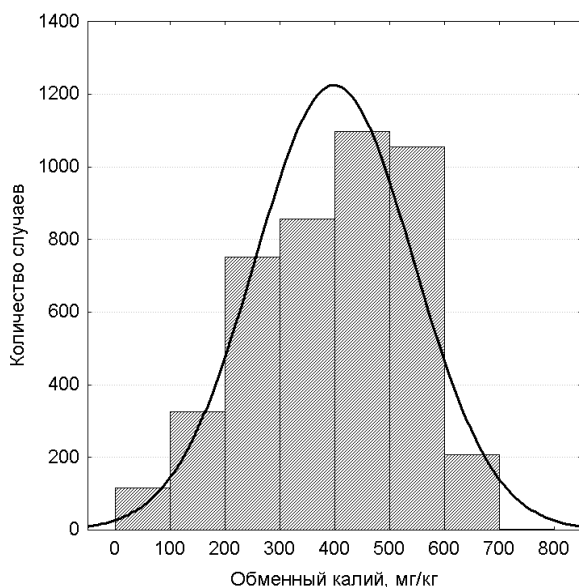
$$y = 17,079x^2 - 1035,5x + 15885; R = 0,56$$

a)



$$y = 120,09x^2 - 11285x + 265508; R = 0,18$$

б)



Общее число случаев	4450
Среднее значение	396,78
Доверительный интервал среднего	4,24
Медиана	414,94
Мода	–
Минимум	23
Максимум	703,18
Процентиль 10,0	199,63
Процентиль 90,0	572,48
Уровень вариации	36,23
Дисперсия	20669,97
Стандартное отклонение	143,77
Стандартная ошибка среднего	2,16
Асимметрия	-0,37
Экссесс	-0,64

в)

Рис. 4. Пространственная неоднородность распределения обменного калия в почвах Херсонской области: а) запад→восток; б) юг→север; в) статистические характеристики

Пространственное распределение обменного калия в почвах отдельных бассейнов характеризуется значительной вариабельностью. Условиями с максимальной однородностью формирования калия характеризуются почвы в пределах БЗПС: среднее – 435,9 мг/кг, уровень вариации – 21,6 %, значение стандартного отклонения и дисперсии составляет – 94,1 мг/кг и 8859,7 мг/кг соответственно. Экссесс характеризует выборку как плосковершинную (-0,32), с незначительными отклонениями (-0,27) в минимальных значениях, стандартная ошибка и доверительный интервал вероятностного изменения среднего составляет 2,7 и 5,3 соответственно, границы процентилей (10–90 %) равны 130,7–496,0 мг/кг.

Наиболее неоднородным по степени распределения калия является РБ, уровень вариации составляет – 42,5 %, среднее – 313 мг/кг, стандартное отклонение – 133,1 мг/кг, дисперсия – 17713,6 мг/кг, экссесс – -0,58, асимметрия – -0,03. Содержание обменного калия в почвах ПБ также имеет значительную вариабельность (32,4 %), гистограмма распределения имеет двухвершинный вид (1-я вершина в значениях – 200–250 мг/кг, 2-я вершина – 550–600 мг/кг), среднее значение – 452,2 мг/кг, стандартное отклонение – 146,4 мг/кг, дисперсия – 21440,9 мг/кг, экссесс – -0,57, значение асимметрии (-0,72)

указывает на сравнительно значительную неоднородность в минимальных значениях. Неоднородное распределение калия в почвах различных бассейнов в большей степени определено различиями в содержании фракции физической глины в гранулометрическом составе почвы, степенью антропогенной нагрузки и культурой землепользования.

Таблица 2. Распределение содержания обменного калия по почвам сельскохозяйственных земель и бассейнам Херсонской области

Содержание обменного калия, мг/кг		Основные бассейны						По области	
		Речной бассейн		Бассейн замкнутого поверхностного стока		Прибрежный бассейн			
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%		
очень низкий	< 100	68,6	9,0	0,5	0,1	1,5	0,2	70,6	3,6
низкий	101 – 200	106,7	14,0	39,0	8,4	65,5	8,8	211,2	10,7
средний	201 – 300	194,4	25,5	112,9	24,3	152,5	20,5	459,8	23,3
повышенный	301 – 400	187,5	24,6	304,0	65,4	81,1	10,9	572,6	29,1
высокий	401 – 600	201,2	26,4	7,4	1,6	387,6	52,1	596,3	30,3
очень высокий	> 600	3,8	0,5	0,9	0,2	55,8	7,5	60,5	3,1
Всего		762,3	100,0	464,8	100,0	743,9	100,0	1971,0	100,0

По результатам исследований А.А. Христенко [32] доказано, что величины содержания калия, получаемых по методу Масловой точно так же, как, собственно, и по другим «жестким» (щелочным и кислотным) методам, прямо зависят от содержания фракции физической глины в пределах 5-65% в гранулометрическом составе почвы и могут быть описаны уравнением:

$$y = 1,1 + 0,25 \cdot x; r = 0,87$$

где, y – содержание K_2O по Масловой, мг/100г; x – количество физической глины, %.

Академик В.В. Медведев [33] также доказал зависимость содержания доступных форм калия с содержанием тонкодисперсных элементов. Он утверждает, что наиболее эта связь описывается квадратичной моделью со средними параметрами надежности:

$$y = -0,7922 \cdot x^2 + 8,5609 \cdot x - 5,1891; r = 0,87$$

где, y – содержание K_2O , мг/100 г; x – количество физической глины, %.

В результате наших исследований была определена линейная зависимость содержания обменного калия и физической глины (5-70%) по 4450 случаям для почв степной и сухостепной зон и эта функция имеет вид:

$$y = 10,74 \cdot x - 30,96; r = 0,83$$

где, y – содержание K_2O , мг/кг по Мачигину; x – количество физической глины, %.

Достоверность нейропрогнозирования определяли на основе разделения временных рядов в соотношении 0,7 и 0,3 на два подмножества: обучающее (70% – 26 лет) и тестовое (30 % – 11 лет). Достоверность трехслойной нейромодели на тестовой выборке по стационарным исследованиям для прогноза содержания обменного калия составила – 85–

94 %, что отражает высокую достоверность результатов временной проекции на 11 лет (до 2025 г.).

Заключение

Результаты нейропрогнозирования позволяют сделать вывод о том, что при использовании существующих агротехнологий практически для всей территории Херсонской области прогнозируется до 2025 г. процесс постепенного истощения почв калием: на богарных землях – на 1,9 мг/год, на орошаемых – на 3,1 мг/год. Наиболее значительное уменьшение калия следует ожидать в почвах западной и центральной части ПБ, южной части РБ, относительно стабильная ситуация прогнозируется в северной части РБ и БЗПС. Представленные подходы, методы и результаты пространственно-временного моделирования дают возможность комплексно подойти к вопросу детального изучения агрохимического состояния и эффективности использования сельскохозяйственных земель в различных типах бассейновой организации с целью дальнейших разработок и внедрения научно-обоснованных проектных решений повышения эффективности бассейнового природопользования в степной и сухостепной зонах.

Полученный результат определяет территориальные приоритеты региональной политики, позволяя применять дифференцированную эффективность почвозащитного блока систем земледелия, а разработанная методика обладает достаточной степенью универсальности для ее тиражирования в других регионах.

Примечания:

1. Пичура В.И. Пространственно-временное прогнозирование изменений параметров агрохимических показателей мелиорируемых почв с использованием ГИС и нейротехнологий // *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2012. № 78. С. 87–95.

2. Дубовик Е.В. Содержание гумуса, азота и фосфора в агрегатах чернозема типичного в прецизионном земледелии // *Достижения науки и техники АПК*. 2013. № 10. С. 14–16.

3. Тюменцев Н.Ф. Сущность бонитировки на генетико-производственной основе. Новосибирск, 1975. 140 с.

4. Медведев В.В. Бонитировка и качественная оценка пахотных земель Украины // *Медведев В.В., Плиско И.В. Харьков: Изд. «13 типография», 2006. 386 с.*

5. Пичура В.И., Ларченко О.В., Домарацкий Е.А., Бреус Д.С. Пространственная оценка пригодности сельскохозяйственных земель для выращивания и проектирования урожая зерновых культур с использованием ГИС-технологий // *Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки*. 2013. № 3. С. 357.

6. Булыгин С.Ю., Ачасов А.Б., Лисецкий Ф.Н. Использование интегрального анализа данных дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа при картографировании почвенного покрова черноземной зоны // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2012. Т. 21. № 21 (140). С. 143–153.

7. Неоднородность почв и точное земледелие. Часть 2. Результаты исследований // под редакцией В.В. Медведева. Харьков: КП «Городская типография». 2009. 260 с.

8. Медведев В.В. Мониторинг почв Украины. Концепция, предварительные результаты, задачи // *Медведев В.В. Харьков: ПФ «Антиква»*. 2002. 428 с.

9. Ефективне використання ґрунтів із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій // [С.А. Балюк, І.В. Пліско, С.Р.Трускавецький та ін.]; за наук. ред. С.А.Балюка. К.: Аграрна наука, 2011. 72 с.

10. Геоінформаційні системи для управління зрошуваними землями: навч. посіб. // [В.О. Ушкаренко, В.В. Морозов, В.В.Колесніков та ін.]-Херсон, Вид-во „ЛТ-Офіс”, 2010. 378 с.

11. Інформаційне забезпечення зрошуваного землеробства. Концепція, структура, методологія організації // [Ромащенко М.І., Драчинська Е.С., Шевченко А.М.]; за ред. М.І. Ромащенко. К.: Аграрна наука, 2005. 196 с.

12. Лисецкий Ф.Н. Эталонные почвы в системе особо охраняемых природных территорий / Лисецкий Ф.Н., Замураева М.Е., Половинко В.В., Данильченко М.А. // Проблемы региональной экологии. 2009. № 1. С. 104-110.
13. Ушкаренко В. О. Резерви зрошуваного землеробства. (Серія IX «Економічний і соціальний розвиток села»; № 15). К.: т-во «Знання» УРСР, 1984. 48 с.
14. Тайчинов С.Н. Бонитировка почвы и качественная оценка земель. Ульяновск, 1997. 120 с.
15. Тюменцев Н.Ф. Сущность бонитировки на генетико-производственной основе. Новосибирск, 1975. 140 с.
16. Caguan B., Uehara G. Soil anisotropy and its relation to aggregate stability. Soil Science Soc. of Amer. Proc. 29. 2. 1965. P. 198-200.
17. Mouazen A.M., Malaki M.R., Merckx R., Baerdemaeker J.De., Ramon H. Primary results on on-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIS sensor. International Soil Tillage Research Organization 17 th Triennial Conference, Kiel, Germany. 2006. P. 839-844.
18. Talsma T. Measurement of soil anisotropies with piezometers // J. of Soil Science. 11. 1. 1960. P. 159-171.
19. Butler B.E. Assessing the soil factor in agricultural production // J. Aust. Inst. Agric. Sci. 30. 4. 1964. P. 232-240.
20. Popp J., Hoag D., Ascough J.I. Targeting soil conservation policies for sustainability: new empirical evidence. // J. Soil Water Conserv. 57. 2002. P. 66-74.
21. Jackson L.E., Santos-Martin F., Hollander A.D., Horwath W.R., Howitt R.E., Kramer J.B., O'Geen A.T., Orlove B.S., Six J.W., Sokolow S.K., Sumner D.A., Tomich T.P., Wheeler S.M. Potential for adaptation to climate change in an agricultural landscape in the central valley of California // California Climate Change Center. 2009. P. 165.
22. Torbert H.A., Kruege E., Kurtener D. Soil quality assessment using fuzzy modeling // Int. Agrophysics. 2008. 22. 365-370.
23. Letey J., Sojka R.E., Upchurch D.R, Cassel D.K, Olson K.R, Payne W.A., Petrie S.E., Price G.H., Reginato R.J., Scott R.D., Smethurst P.J., and Triplett G.B. Deficiencies in the soil quality concept and its application // J. Soil Water Conserv. 2003. 58. P. 180-187.
24. Нарожняя А.Г., Карпенская С.Ю. Использование геоинформационных технологий при типизации бассейновых структур // XXIV пленарное совещ. межвуз. научно-координ. совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та. 2009. С. 550-553.
25. Лисецкий Ф.Н., Панин А.Г. Бассейновая концепция природопользования на сельских территориях Белгородской области // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. №1. С. 48-51.
26. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс // Neural Networks: A Comprehensive Foundation. 2-е изд. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
27. Пичура В.И. Применение интеллектуальных искусственных нейронных сетей для прогнозирования химических показателей оросительной воды (на примере Ингулецкого магистрального канала) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 2. С. 17-28.
28. Лисецкий Ф.Н., Столба В.Ф., Пичура В.И. Периодичность климатических, гидрологических процессов и озерного осадконакопления на юге Восточно-Европейской равнины // Проблемы региональной экологии. 2013. № 4. С. 19-25.
29. Pichura V.I., Breus D.S. The Basin Approach in the Study of Spatial Distribution Anthropogenic Pressure With Irrigation Land Reclamation of the Dry Steppe Zone // Biogeosystem Technique. 2015. № 1 (3). С. 89-100.
30. Лисецкий Ф.Н., Павлюк Я.В., Кириленко Ж.А., Пичура В.И. Бассейновая организация природопользования для решения гидроэкологических проблем // Метеорология и гидрология. 2014. № 8. С. 66-76.
31. Lisetskii F.N., Buryak J.A., Zemlyakova A.V., Pichura V.I. Basin Organizations Of Nature Use, Belgorod Region // Biogeosystem Technique. 2014. № 2 (2). p. 163-173.
32. Христенюк А.А. Оценка химических методов определения содержания подвижного калия в почвах // Агротехніка і ґрунтознавство. Міжвідомчий наук. збірник. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського», 2007. Вип. 67. С. 90-98.

33. Медведев В.В., Лактионова Т.Н. Гранулометрический состав почв Украины (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харьков: Апостроф, 2011. 292 с.

References:

1. Pichura V.I. Prostranstvenno-vremennoe prognozirovanie izmenenii parametrov agrokhimicheskikh pokazatelei melioriruemykh pochv s ispol'zovaniem GIS i neirotekhologii // *Agrokimiya i gruntoznastvo*. 2012. № 78. S. 87–95.
2. Dubovik E.V. Soderzhanie gumusa, azota i fosfora v agregatakh chernozema tipichnogo v pretsizionnom zemledelii // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2013. № 10. S. 14–16.
3. Tyumentsev N.F. Sushchnost' bonitirovki na genetiko-proizvodstvennoi osnove. Novosibirsk, 1975. 140 s.
4. Medvedev V.V. Bonitirovka i kachestvennaya otsenka pakhotnykh zemel' Ukrainy // Medvedev V.V., Plisko I.V. Khar'kov: Izd. «13 tipografiya», 2006. 386 s.
5. Pichura V.I., Larchenko O.V., Domaratskii E.A., Breus D.S. Prostranstvennaya otsenka prigodnosti sel'skokhozyaistvennykh zemel' dlya vyrashchivaniya i proektirovaniya urozhaya zernovykh kul'tur s ispol'zovaniem GIS-tekhologii // *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye, tekhnicheskie i meditsinskie nauki*. 2013. № 3. S. 357.
6. Bulygin S.Yu., Achasov A.B., Lisetskii F.N. Ispol'zovanie integral'nogo analiza dannykh distantsionnogo zondirovaniya i tsifrovyykh modelei rel'efa pri kartografirovanii pochvennogo pokrova chernozemnoi zony // *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2012. T. 21. № 21 (140). S. 143–153.
7. Neodnorodnost' pochv i tochnoe zemledelie. Chast' 2. Rezul'taty issledovaniya // pod redaktsiei V.V. Medvedeva. Khar'kov: KP «Gorodskaya tipografiya». 2009. 260 s.
8. Medvedev V.V. Monitoring pochv Ukrainy. Kontseptsiya, predvaritel'nye rezul'taty, zadachi // Medvedev V.V. Khar'kov: PF «Antikva». 2002. 428 s.
9. Efektivne vikoristannya rruntiv iz zastosuvanniam suchasnykh geoinformatsiinykh tekhnologii // [S.A. Balyuk, I.V. Plisko, S.R.Truskavets'kii ta in.]; za nauk. red. S.A.Balyuka. K.: Agrarna nauka, 2011. 72 s.
10. Geoinformatsiini sistemi dlya upravlinnya zroshuvanimi zemlyami: navch. posib. // [V.O. Ushkarenko, V.V. Morozov, V.V.Kolesnikov ta in.]-Kherson, Vid-vo „LT-Ofis”, 2010. 378 s.
11. Informatsiine zabezpechennya zroshuvanogo zemlerobstva. Kontseptsiya, struktura, metodologiya organizatsii // [Romashchenko M.I., Drachins'ka E.S., Shevchenko A.M.]; za red. M.I. Romashchenka. K.: Agrarna nauka, 2005. 196 s.
12. Lisetskii F.N. Etalonnye pochvy v sisteme osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii / Lisetskii F.N., Zamuraeva M.E., Polovinko V.V., Danil'chenko M.A. // *Problemy regional'noi ekologii*. 2009. № 1. S. 104-110.
13. Ushkarenko V. O. Rezervi zroshuvanogo zemlerobstva. (Seriya IX «Ekonomichnii i sotsial'nii rozvitok sela»; № 15). K.: t-vo «Znannya» URSSR, 1984. 48 s.
14. Taichinov S.N. Bonitirovka pochvy i kachestvennaya otsenka zemel'. Ul'yanovsk, 1997. 120 s.
15. Tyumentsev N.F. Sushchnost' bonitirovki na genetiko-proizvodstvennoi osnove. Novosibirsk, 1975. 140 s.
16. Caguan B., Uehara G. Soil anisotropy and its relation to aggregate stability. *Soil Science Soc. of Amer. Proc.* 29. 2. 1965. P. 198-200.
17. Mouazen A.M., Malaki M.R., Merckx R., Baerdemaeker J.De., Ramon H. Primary results on on-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIS sensor. *International Soil Tillage Research Organization 17 th Triennial Conference*, Kiel, Germany. 2006. P. 839-844.
18. Talsma T. Measurement of soil anisotropies with piezometers // *J. of Soil Science*. 11. 1. 1960. P. 159-171.
19. Butler B.E. Assessing the soil factor in agricultural production // *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 30. 4. 1964. P. 232-240.
20. Popp J., Hoag D., Ascough J.I. Targeting soil conservation policies for sustainability: new empirical evidence. // *J. Soil Water Conserv.* 57. 2002. P. 66-74.
21. Jackson L.E., Santos-Martin F., Hollander A.D., Horwath W.R., Howitt R.E., Kramer J.B., O'Geen A.T., Orlove B.S., Six J.W., Sokolow S.K., Sumner D.A., Tomich T.P., Wheeler

S.M.Potential for adaptation to climate change in an agricultural landscape in the central valley of California // California Climate Change Center. 2009. P. 165.

22. Torbert H.A., Kruege E., Kurtener D. Soil quality assessment using fuzzy modeling // Int. Agrophysics. 2008. 22. 365-370.

23. Letey J., Sojka R.E., Upchurch D.R, Cassel D.K, Olson K.R, Payne W.A., Petrie S.E., Price G.H., Reginato R.J., Scott R.D., Smethurst P.J., and Triplett G.B. Deficiencies in the soil quality concept and its application // J. Soil Water Conserv. 2003. 58. P. 180-187.

24. Narozhnyaya A.G., Karpenskaya S.Yu. Ispol'zovanie geoinformatsionnykh tekhnologii pri tipizatsii basseinovnykh struktur // KhKhIV plenarnoe soveshch. mezhvuz. nauchno-koordin. sojeta po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov. Barnaul: Izd-vo Alt. un-ta. 2009. S. 550–553.

25. Lisetskii F.N., Panin A.G. Basseinovaya kontseptsiya prirodopol'zovaniya na sel'skikh territoriyakh Belgorodskoi oblasti // Vestnik Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk. 2013. №1. S. 48-51.

26. Khaikin S. Neironnye seti: polnyi kurs // Neural Networks: A Comprehensive Foundation. 2-e izd. M.: Vil'yams, 2006. 1104 s.

27. Pichura V.I. Primenenie intellektual'nykh iskusstvennykh neironnykh setei dlya prognozirovaniya khimicheskikh pokazatelei orositel'noi vody (na primere Inguletskogo magistral'nogo kanala) // Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. 2012. № 2. S. 17-28.

28. Lisetskii F.N., Stolba V.F., Pichura V.I. Periodichnost' klimaticheskikh, gidrologicheskikh protsessov i ozernogo osadkonakopleniya na yuge Vostochno-Evropeiskoi ravniny // Problemy regional'noi ekologii. – 2013. – № 4. – S. 19-25.

29. Pichura V.I., Breus D.S. The Basin Approach in the Study of Spatial Distribution Anthropogenic Pressure With Irrigation Land Reclamation of the Dry Steppe Zone // Biogeosystem Technique. 2015. № 1 (3). S. 89-100.

30. Lisetskii F.N., Pavlyuk Ya.V., Kirilenko Zh.A., Pichura V.I. Basseinovaya organizatsiya prirodopol'zovaniya dlya resheniya gidroekologicheskikh problem // Meteorologiya i gidrologiya. 2014. № 8. S. 66–76.

31. Lisetskii F.N., Buryak J.A., Zemlyakova A.V., Pichura V.I. Basin Organizations Of Nature Use, Belgorod Region // Biogeosystem Technique. 2014. № 2 (2). p. 163-173.

32. Khristenok A.A. Otsenka khimicheskikh metodov opredeleniya sodержaniya podvizhnogo kaliya v pochvakh // Agrokhimiya i rruntoznavstvo. Mizhvidomchii nauk. zbirnik. Kharkiv: NNTs «IGA im. O.N. Sokolovskogo», 2007. Vip. 67. S. 90-98.

33. Medvedev V.V., Laktionova T.N. Granulometricheskii sostav pochv Ukrainy (geneticheskii, ekologicheskii i agronomicheskii aspekty). Khar'kov: Apostrof, 2011. 292 s.

УДК 631.41: 528.94: 51-71

Бассейновый подход к пространственно-временному моделированию и нейропрогнозирование обеспеченности калием почв зоны сухой степи

Виталий Иванович Пичура

Херсонский государственный аграрный университет, Украина
73006, Херсон, Розы Люксембург, 23
E-mail: pichura@yandex.ru

Аннотация. В работе представлены результаты системного использования бассейнового подхода, геоинформационных и нейротехнологий для моделирования пространственной неоднородности и прогноза изменения содержания калия в степной и сухостепной зонах (на примере Херсонской области Украины). Установлено, что среди трех типов бассейнов наиболее неоднородными по структуре почвенного покрова и гранулометрического состава являются речные и прибрежные бассейны. В результате моделирования определена общая закономерность изменения содержания калия в слое

0...40 см за 42 года – непрерывный процесс постепенного истощения пахотных почв калием. Отсутствие регулярного, равномерного и необходимого количества поступления минеральных удобрений, проявление водной эрозии, включая ирригационную, и дефляции почв, а также длительное орошение привело в период 1970–2012 гг. к уменьшению содержания подвижного калия: в среднем на 18 % (с 442,8 мг/кг до 363,8 мг/кг). В результате пространственно-графического анализа по 4450 точкам наблюдений выявлено уменьшение variability и восходящая квадратичная зависимость увеличения содержания калия в направлении с запада на восток и снижение с юга на север. Методом автокорреляционного анализа определены минимальный и максимальный радиус типичности формирования калия, составившие 2,5 ($r=0,413$) и 12,5 км ($r=0,170$) соответственно. Это указывает на значительную пространственную неоднородность распределения калия, как в границах отдельных бассейнов, так и внутри контуров различных типов почв. Инструментами многомерной статистики впервые созданы пространственные функции распределения и обеспечения калием почв в основных бассейнах Херсонской области (при корреляции 0,46 и 0,96 соответственно). Геоestatистическими методами и корреляционно-регрессионным анализом впервые для степной и сухостепной зоны аппроксимирована линейная зависимость ($r=0,83$) обменного калия и содержания фракции физической глины (частиц $<0,01$ мм) в гранулометрическом составе почвы. В результате нейротехнологического моделирования создана трехслойная искусственная нейронная сеть для пространственно-временного моделирования содержания калия в почвах. Достоверность аппроксимации нейромодели по стационарам исследований составила – 85-94%. При использовании существующих агротехнологий прогнозируется до 2025 г. необратимый процесс постепенного истощения почв калием: на богарных землях – на 1,9 мг/год, на орошаемых – на 3,1 мг/год. Полученный результат определяет территориальные приоритеты региональной политики, позволяя применять дифференцированную эффективность почвозащитного блока систем земледелия

Ключевые слова: плодородие почв, содержание калия, моделирование, прогнозирование, многомерная статистика, ГИС-технологии, нейротехнологии.