

## АГРОНОМИЯ, И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО AGRONOMY AND FORESTRY

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-01

### APPLICATION OF THE LOGISTIC FUNCTION IN THE MODELING OF EROSION-SLOPE CATENAE AND BIOPRODUCTIVITY OF AGROGEOSYSTEMS

A. S. Rulev, O. V. Ruleva, G. A. Rulev

*Federal State Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture»  
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: bifu@mail.ru

Received 04.05.2023

Submitted 18.08.2023

#### Abstract

**Introduction.** The relevance of this study is related to the need to summarize the material in various fields of research and translate this data into the language of digital models. Understanding the physical essence of the process is of great importance for mathematical modeling of slope ecogeomorphosystems and biological productivity of agrogeosystems the fundamental nature of the diffusion equation underlying these processes. The log function (LF) was chosen for the analytical description of processes, since it satisfies the representations occurring in the catenary complex at different taxonomic levels: micro-, meso-, macro- and mega-organizational landscapes. With the help of LF, the first and subsequent derivatives are relatively easy to calculate, which give ideas about the speed and acceleration of processes. **Materials and methods.** The studies were conducted from 1986 to 2022. **Objects** of research at the south-eastern end of the Volga upland: land use "Kachalinskoe" of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, land use of the Federal State Budgetary Institution VNIIOZ and on the lands of the Zavolzhskaya irrigation system (Volgograd region), as well as rainfed lands in the Mikhailovsky district of the "Ishkin" A.V. The study and modeling of the catenary complex log function was carried out at macro-, meso-levels. **Results and conclusions.** As a result of studies of the features of the spatial distribution of transitional natural zones, a "Method for mapping natural transition zones (ecotones)" was developed and patented. The essence of the patent is the spatial analysis of transition zones in subboreal landscapes by radiation heat flow. The log function described the relationship of  $y(x)$  bioproductivity with soil washout (in normalized values) with parameters  $a=3.478$ ;  $b=5.948$ ;  $x=0.00001 - 1.0$ . The dependence is performed for chestnut soils of light, medium and heavy granulometric composition. The calculation based on the given dependence was performed by finding the first and subsequent derivatives. The logistic function with a high degree of approximation describes the morphometric changes that occur with agricultural crops during the growing season. These include the growth function of agricultural crops; sunflower (variety "Dainty" and hybrid LG-5456), barley ("Medicum 139"), varieties and hybrids of corn. **Conclusion.** LF is universal. With the help of it, it is possible not only to analyze existing events, to predict the development of processes occurring on slope ecogeomorphosystems and in agrocenoses with sufficiently high accuracy.

**Key words:** logistic function, modeling, erosion-slope catena, bioproductivity, agricultural systems.

**Citation.** Rulev A. S., Ruleva O. V., Rulev G. A. Application of the logistic function in the modeling of erosion-slope catenae and bioproductivity of agrogeosystems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 13-21 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-01.

**Author's contribution.** All authors are directly related to the present study, were directly involved in the laying of field experience. Participated in the execution and analysis of the experiment. All authors of the paper were made aware of the final results for publication.

**Conflict of interests.** The authors of this publication declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.6:519.22

**ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ  
ЭРОЗИОННО-СКЛОНОВЫХ КАТЕН И БИОПРОДУКТИВНОСТИ  
АГРОГЕОСИСТЕМ**

**А. С. Рулев**, академик РАН, Лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

**О. В. Рулева**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник

**Г. А. Рулев**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия  
г. Волгоград, Российская Федерация

**Аннотация.** Актуальность данного исследования связана с потребностью в обобщении материала по разным направлениям исследований и переводе этих данных на язык цифровых моделей. Большое значение для математического моделирования склоновых экоморфосистем и биологической продуктивности агрогеосистем имеет понимание физической сущности происходящего процесса, фундаментального характера уравнения диффузии, лежащего в основе этих процессов. Лог функция (ЛФ) была выбрана для аналитического описания процессов, так как она удовлетворяет представлениям, происходящим в катенарном комплексе на разных таксономических уровнях: микро-, мезо-, макро- и мегаорганизменных ландшафтах. С помощью ЛФ сравнительно легко вычисляются первая и последующие производные, которые дают представления о скорости и ускорении процессов. **Методика.** Исследования проводились с 1986 по 2022 гг. **Объекты** исследований на юго-восточном окончании Приволжской возвышенности: землепользование «Качалинское» ФНЦ агроэкологии РАН, землепользование ФГБНУ ВНИИОЗ и на землях Заволжской оросительной системы (Волгоградская область), а также богарных землях в Михайловском районе КФ «Ишкин А. В.» Изучение и моделирование катенарного комплекса лог-функцией проводилось на макро-, мезоуровнях. **Результаты и выводы.** В результате исследований особенностей пространственного распределения переходных природных зон был разработан и запатентован «Способ картографирования природных переходных зон (экотонов)». Суть патента состоит в пространственном анализе переходных зон в суббореальных ландшафтах по радиационному потоку тепла. Лог функцией была описана связь  $y(x)$  биопродуктивности со смывостью почв (в нормированных величинах) с параметрами  $a=3,478$ ;  $b=5,948$ ;  $x=0,00001 - 1,0$ . Зависимость выполняется для каштановых почв легкого, среднего и тяжелого гранулометрического состава. Расчет на основе заданной зависимости производился через нахождение первой и последующих производных. Логистическая функция с высокой степенью приближения описывает морфометрические изменения, происходящие с сельскохозяйственными культурами за вегетацию. К ним относится ростовая функция сельскохозяйственных культур; подсолнечника (сорт «Лакомка» и гибрид LG-5456), ячмень («Медикум 139»), сорта и гибриды кукуруза. **Заключение.** ЛФ – универсальна. С ее помощью можно не только провести анализ существующих событий, предсказать развитие процессов, происходящих на склоновых экоморфосистемах и в агроценозах с достаточно высокой точностью.

**Ключевые слова:** эрозионно-склоновые катены, биопродуктивность агрогеосистем, агрогеосистемы.

**Цитирование.** Рулев А. С., Рулева О. В., Рулев Г. А. Применение логистической функции при моделировании эрозионно-склоновых катен и биопродуктивности агрогеосистем. *Известия НВ АУК*. 2023. 3(71). 13-21. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-01.

**Авторский вклад.** Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Введение.** Важное значение для математического моделирования склоновых экогеоморфосистем имели работы У. Каллинга [10], А. Шайдеггера [15], А. С. Девдариани [2] и др., применивших для этих целей дифференциальное уравнение параболического типа, или уравнение диффузии, которые признавали фундаментальный характер уравнения. Математически уравнение диффузии является адекватным выражением физической сути процессов диффузии газов (для чего оно и было предложено А. Эйнштейном и откуда получило свое название), теплопроводности и других явлений энергомассообмена. Термин «катена» (от лат. Catena – цепь) впервые был введен в практику почвенных исследований Милном в 1935 г. «закономерное повторение определенной последовательности почвенных профилей в связи с безусловным характером рельефа» [1]. В современной трактовке объектами исследований выступают не отдельные почвы, а сочетания их разновидностей, т.е. хроноряды педокатен, педофитокомбинаций [3].

Для описания и моделирования процессов на склоновых катенах в математике известна логистическая функция, или логиста, лог-функция (ЛФ) или уравнение Ферхюльста-Перла [4, 13]. Форма склона ею аппроксимируется с высокой точностью (не менее 5%). Лог функция была выбрана нами для аналитического описания процессов, происходящих в эрозионно-склоновых катенах, богарных и орошаемых геосистемах. Во-первых, она удовлетворяет априори представлениям, происходящих в катенарном комплексе на разных таксономических уровнях: микро-, мезо-, макро- и мегаорганизменных ландшафтах [9, 12]. Во-вторых, с помощью ЛФ сравнительно легко вычисляются первая и последующие производные, которые дают представления о скорости и ускорении процессов. Кроме того, первая производная логистической функции (уклон), описывающая форму склоновых катен, имеет колоколообразный вид и аналогична диффузионному уравнению.

**Материалы и методы.** Исследования проводились с 1986 по 2022 гг. Объекты исследований на юго-восточном окончании Приволжской возвышенности: землепользование «Качалинское» ФНЦ агроэкологии РАН, землепользование ФГБНУ ВНИИОЗ и на землях Заволжской оросительной системы (Волгоградская область), а также богарных землях в Михайловском районе КФ «Ишкин А. В.»

Изучение и моделирование катенарного комплекса лог-функцией проводилось на макро-, мезоуровнях. На макроуровне изучался характер связей зональных ландшафтных экотонов, в которых существуют переходные зоны триггерных режимов функционирования – переходов из одного устойчивого состояния в другое («лес» в «степь», «степь» в «пустыню»). То есть происходит бифуркация в зависимости от главного динамического климатического фактора и, в первую очередь, от количества осадков [5, 6].

На мезоуровне катенарного комплекса проводились исследования на эрозионно-склоновых катенах и в орошаемых геосистемах. С помощью лог-функции были проанализированы многолетние данные [7], представленные в виде сигмоид средней урожайности. Характер кривых определялся смытостью почв.

Для анализа кривой использовалась логистическая функция:

$$Y = \frac{Y_{max} - Y_{min}}{1 + e^{a+bx}} - Y_{min} \text{ — в натуральных величинах;}$$

$$Y_{\Delta} = \frac{Y_{\phi} - Y_{min}}{Y_{max} - Y_{min}} = \frac{1}{1 + e^{a+bx}} \text{ — в относительных (нормированных),}$$

где  $Y_{\phi}$ ,  $Y_{\Delta}$ ,  $Y_{max}$ ,  $Y_{min}$  — соответственно фактическая и нормированная, максимальная и минимальная урожайность сельскохозяйственных культур;  $x=0,001 \dots 1,0$ ;  $a$  и  $b$  — параметры, определяющие наклон, изгиб и точку перегиба кривой.

Были проведены исследования орошаемых агроценозов. Для упрощения расчетов параметров растений, различающихся размерами, фактические данные нормировали. В относительных единицах период вегетации приравнивался к единице, дни выражались в её долях. Определяли высоту и биомассу кукурузы различных среднеспелых и позднеспелых гибридов, которые описали единой формулой:

$$P_{\Delta} = \frac{P_p}{P_{max}} = \frac{1}{1 + e^{a-b\tau}},$$

где  $\tau$  – время вегетации (количество дней в зависимости от культуры, сроков созревания и условий произрастания),  $e$  – число Эйлера  $\cong 2,71828$  (или основание натуральных логарифмов),  $a$  и  $b$  – константы, определяющие наклон, изгиб и точку перегиба кривой. При расчете высоты растений:  $P_p$  – высота растения в относительных единицах,  $P_{max}$  – максимальная высота растений в конце вегетации.

**Результаты и обсуждение.** Известен периодический закон [8] географической зональности, устанавливающий связь географических зон с радиационным балансом земной поверхности и радиационным индексом сухости, где отмечается, что внутри каждого широтного пояса существуют соответствие границ природных зон определенным значениям радиационного индекса сухости  $IR=R/L_r$ , где  $R$  – радиационный поток тепла,  $L$  – скрытая теплота испарения,  $g$  – годовые осадки.

В результате исследований особенностей пространственного распределения переходных природных зон был разработан и запатентован «Способ картографирования природных переходных зон (экотонных)» (Пат. RU №2507602 С1 Р.Ф., МПК G09В 29/00 (2006.01). Рулев А. С., Юферев В. Г., Юферев М. В., Рулев Г. А. Заявка 21.08.2012; опубл. 20.02.2014.). Суть патента в пространственном анализе переходных зон в суббореальных ландшафтах по радиационному потоку тепла. Для математического описания изменения значения радиационного потока тепла по географической широте удобнее пользоваться нормированными величинами. При этом максимальное и минимальное значение радиационного потока тепла на суше принимаются соответственно 1 и 0. За ноль нормированного широтного диапазона принята широта  $90^0$ , а за единицу широта  $0^0$  (экватора).

Установлено изменение значения радиационного потока тепла по географической широте на суше для основных географических зон, характер, которого может быть описан логистической зависимостью:

$$R = \frac{2,81}{1 + 0,72 \exp(-4,25 - 8,51x)} + 0,28,$$

где 2,81 – коэффициент радиационного баланса, ГДж/м<sup>2</sup> год; 8,51 – коэффициент зональности; 0,28 – минимальный годовой радиационный поток тепла, ГДж/м<sup>2</sup> год.

Анализ показал, что кривая функции радиационного потока тепла имеет точку перегиба, соответствующую максимуму первой производной, в момент перехода возрастающей в убывающую скорость процесса, определяемого по первой производной  $R'(x)$ .

Анализ производных позволяет установить границы и величину диапазонов, определяемых значимыми изменениями радиационного потока тепла, по географической широте.

Первая производная  $R'(x)$  определяет скорость изменения радиационного потока тепла и имеет максимум, характеризующий её переход от нарастания к убыванию, что позволяет установить широтный центр северной глобальной катены, который равен  $48,6^0$  с.ш.

Значения географической широты в точках экстремумов второй производной от  $34,2^0$  до  $62,1^0$  северной широты задают границы глобального экотона глобальной катены. Вторая производная  $R''(x)$  показывает ускорение процесса и в точке перегиба

функции  $R(x)$  вторая производная равна нулю. Она достигает максимума и минимума в точках перегиба функции  $R'(x)$ . Значение широты в точках экстремумов соответствуют границам зоны перехода.

Третья производная  $R''(x)$  и последующие используются для выделения ландшафтных экотонов различного пространственного уровня, так как устанавливают географические координаты точек с параметрами, характеризующими изменения радиационного потока тепла на суше в плане переходов «возрастание – 0 – убывание». Анализ последующих производных дает возможность определить центры и границы локальных экотонов географических зон. Таким образом, выявлена закономерность «положение экотонов в ландшафтах, определяемая производными логистической функции».

$$R = \frac{A}{1 + 0,72 \exp^{4,25 - Bx}} + C,$$

Аналогичной лог-функцией была описана связь  $y(x)$  биопродуктивности со смываемостью почв (в нормированных величинах) с параметрами  $a=3,478; b=5,948; x=0,00001 - 1,0$ . Зависимость выполняется для каштановых почв легкого, среднего и тяжелого гранулометрического состава. Расчет на основе заданной зависимости производился через нахождение первой и последующих производных. Эсобразная зависимость имеет точку перегиба, соответствующую максимуму первой производной, в момент перехода возрастающей скорости процесса в убывающую. Первая производная характеризует скорость процесса снижения урожайности. Вторая производная от лог-функции характеризует ускорение процесса (изменение скорости убывания урожайности). В точке перегиба функции  $y(x)$  вторая производная равна 0. Она достигает максимума и минимума в точках перегиба функции  $y'(x)$ . Для вычисления значений экстремумов находят третью производную, которая в точках перегиба обращается в нуль.

При компьютерной обработке значения  $y_{\max}$  и  $y_{\min}$  задавались соответственно больше и меньше ожидаемых, а поиск параметров осуществлялся методом последовательного приближения. Вычислялись расчетные значения урожайности  $y_p$  и находились относительные ошибки, которые обычно были в пределах нескольких процентов, что свидетельствует о высокой точности логистического приближения. Ошибки вычислялись по следующей формуле:

$$E = \frac{y_p - y_{\Delta}}{y_{\Delta}} \cdot 100\%.$$

Помимо этого, логистическая функция с высокой степенью приближения описывает морфометрические изменения, происходящие с сельскохозяйственными культурами за вегетацию [11]. К ним относится ростовая функция многих сельскохозяйственных культур. Нами были описаны высота подсолнечника (сорт «Лакомка» и гибрид LG-5456), ячмень («Медикум 139») [7], сорта и гибриды кукуруза [14]. Для всех культур формула имела вид:

$$H_p = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{1 + e^{a - bt}} + H_{\min},$$

где  $H_{\min}$  – высота растения в начале вегетации, см (при  $t=0$ ,  $H_{\min}=0$ ), при  $H_{\max}$  – максимальная высота растений, см,  $t$  – число дней вегетации,  $e$  – основание натуральных логарифмов,  $a$  и  $b$  – константы, определяющие наклон, изгиб и точку перегиба кривой (рисунок 1).

Расстояния на поле определяли по трансекте от лесной полосы (Lh). Лесная полоса плотной конструкции 10 метров (H) из вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.) и ясеня зеленого (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh).

На основе физиологических особенностей сорта и гибридов были построены модели зависимости периода созревания подсолнечника от среднесуточных и эффективных температур воздуха и минимальных ночных температур почвы для мониторинга

га и прогноза развития культур, которые также аппроксимируются лог-функцией. Для анализа состояния подсолнечника выделили 3 активных фазы, связанные с температурными показателями (таблица 1, рисунок 2).

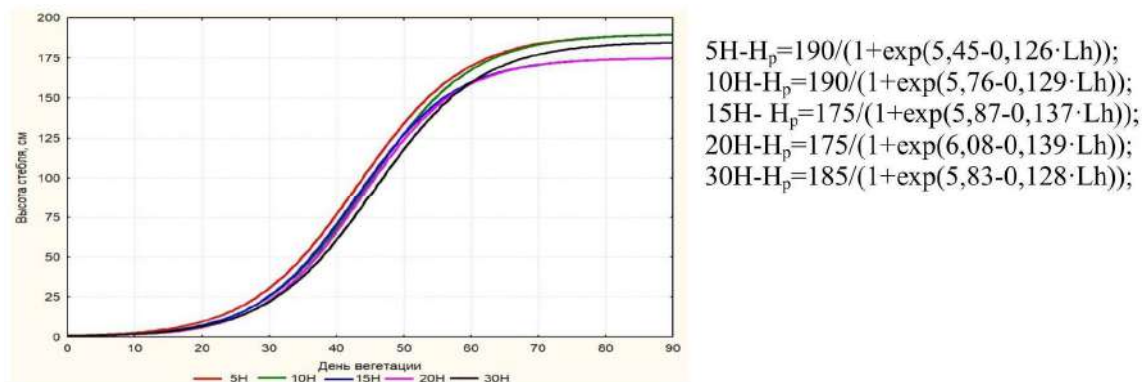


Рисунок 1 – Модель высоты подсолнечника за период вегетации (2018 г.)

Figure 1 – Sunflower height model for the growing season (2018)

Таблица 1 – Продолжительность фаз развития и роста подсолнечника разных гибридов и сортов в зависимости от среднесуточной температуры воздуха при разных сроках сева  
Table 1 – The duration of the phases of development and growth of sunflower of different hybrids and varieties, depending on the average daily air temperature at different sowing dates

| Дата посева | гибрид, сорт | I               |    | II              |    | III             |    | IV              |      |
|-------------|--------------|-----------------|----|-----------------|----|-----------------|----|-----------------|------|
|             |              | T <sub>ср</sub> | N  | T <sub>ср</sub> | N  | T <sub>ср</sub> | N  | T <sub>ср</sub> | N    |
| 01.06.2016  | LG-5456      | 17,1            | 15 | 24,6            | 20 | 24,7            | 17 | 30              | 24,1 |
| 13.05.2017  | LG-5456      | 15,1            | 31 | 20,1            | 27 | 23,7            | 27 | 25              | 23,0 |
| 30.05.2018  | «Лакомка»    | 18,1            | 20 | 25,8            | 23 | 23,8            | 19 | 30              | 21,1 |

\* I – формирование корневой системы; II – III – активный рост; IV – урожай;

T<sub>ср</sub> – среднесуточная температура воздуха, °C; N – число дней

\* I – formation of the root system; II – III – active growth; IV – harvest;

T<sub>sr</sub> – average daily air temperature, °C; N – number of days

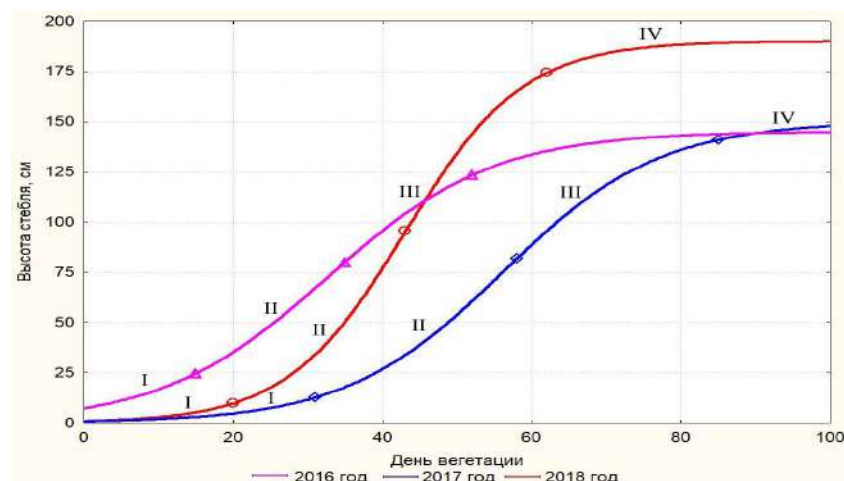


Рисунок 2 – Графическая модель связи фаз развития подсолнечника с ростовой функцией логистического вида  $H=H_{max}/(1+\exp(a-b \cdot L_h))$

I – формирование корневой системы; II – III – активный рост; IV – урожай

Figure 2 – Graphical model of the relationship of sunflower development phases with the growth function of the logistic type  $H=H_{max}/(1+\exp(a-b \cdot L_h))$

I – root system formation; II – III – active growth; IV – yield

Данное уравнение можно привести к общим показателям и представить в нормированных величинах. Чтобы сравнить культуры, различающиеся периодом вегетации, их показатели приравнивают 1, соответственно дни выражаются в её долях.

$$H_{\Delta} = \frac{H_p - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}} = \frac{1}{1 + ce^{-bt}},$$

при  $H_{\min} = 0$  
$$H_{\Delta} = \frac{H_p}{H_{\max}} = \frac{1}{1 + ce^{-bt}},$$

где  $c = e^a$

Скорость роста (приращение по высоте растений в зависимости от расстояния по трансекте-катене) определяется как первая производная от логистической функции. Нахождение второй и последующих производных для растений не имели физического смысла, поэтому не применялись.

**Заключение.** Итак, были проанализированы процессы, происходящие на эрозионно-склоновых агрокатенах, в орошаемых и богарных геосистемах за период вегетации при развитии сельскохозяйственных культур. Все эти процессы удовлетворяют априорным представлениям о развитии процесса, дают удовлетворительное приближение при относительно малом числе подбираемых параметров, позволяют получать уравнения развития растений в экосистеме для расчетов высоты, биомассы, фотосинтетического потенциала, суточных приростов, что упрощает изучение продуктивности биocenозов, позволяет использовать для создания моделей по изучению факторов деградации ландшафтов. С помощью логистической зависимости можно не только дать анализ существующих событий, но и предсказать развитие почвенно-мелиоративных систем в будущем с достаточно высокой точностью.

**Conclusions.** So, the processes occurring on erosion-slope agrocathenes, in irrigated and rain-fed geosystems during the growing season during the development of agricultural crops were analyzed. All these processes satisfy a priori ideas about the development of the process, give a satisfactory approximation with a relatively small number of selected parameters, allow us to obtain equations of plant development in the ecosystem for calculating height, biomass, photosynthetic potential, daily increments, which simplifies the study of the productivity of biocenoses, allows us to create models for studying the factors of degradation of landscapes. With the help of logistic dependence, it is possible not only to analyze existing events, but also to predict the development of soil reclamation systems in the future with sufficiently high accuracy.

#### Библиографический список

1. Грегори К. География и географы: Физическая география. М. Прогресс, 1988. 384 с.
2. Девдариани А. С. Вклад Западной Европы, США и СССР в изучение рельефа поверхности Земли математическими методами // Рельеф Земли и математика. М. Мир. 1981. 253 с.
3. Лисецкий Ф. Н. Пространственно-временная организация агроландшафтов. Белгород, 2000. 302 с.
4. Московкин В. М., Журавка А. В. Пьер Франсуа Ферхюльст – забытый первооткрыватель закона логистического роста и один из основателей экономической динамики // Оригинальные исследования: науч.-практ. электрон. журн. 2020. Т. 10. № 7. С. 207-218.
5. Панов В. И. Ландшафтно-географическая методология (географический принцип В. В. Докучаева) ресурсного управления и преобразования степного незащищенного агроландшафта в улучшенный природоподобный противоэрозионный агроландшафт лесостепного типа // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 2 (3). С. 511-528.
6. Рулев А. С., Юфев В. Г. Термодинамика и моделирование переходных зон в агро-геосистемах // Известия Нижневолжского Агроуниверситетского комплекса. 2016. № 2 (42). С. 34-40.
7. Рулев А. С., Рулева О. В., Овечко Н. Н. Универсальность логистической функции при моделировании прогноза развития природных и антропогенных систем // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 5. С. 67-70.

8. Рулев А. С., Юфев В. Г. Геоинформационное картографирование переходных природных зон (экотонов) // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «География». 2014. Т. 27 (66). № 2. С. 163-169.

9. Biswajit Bera, Soumik Saha, Sumana Bhattacharjee Forest cover dynamics (1998 to 2019) and prediction of deforestation probability using binary logistic regression (BLR) model of Silabati-watershed, India. 2020.100034 .

10. Culling W. E. H. Analytical theory of erosion // J. Geol. 1960. Vol. 68. № 3.

11. Genetic analysis of the seed dehydration process in maize based on a logistic model / Shuangyi Yin, Jun Liu [et al.]. 2019. No 06. P. 011.

12. Logistic model outperforms allometric regression to estimate biomass of xerophytic shrubs / Ma, Chuan Yuan, Jiayu Zhou, Yan Li, Guangyao Gao, Bojie Fu. 2021. 108278.

13. Optimisation of Logistic Model Using Geographic Information Systems: A Case Study of Biomass-based Combined / Jixianghang, Xiaolei Zhang [et al.] // Heat&Power Generation in China https. 2022.100060.

14. Ruleva O. V., Rulev G. A. Relationship Between Air Temperature and Maize Growth Function // Anthropogenic transformation of geospace: Nature, Economy, Society: Advances in Engineering research. Proceeding of IV international Scientific and Practical Conference. 2019. P. 253-256.

15. Scheidegger A. E. Theoretical geomorphology. Berlin: Heidelberg, 1970. 435 p.

#### References

1. Gregory C. Geography and geographers: Physical geography. M.: Progress, 1988. 384 p.

2. Devdariani A. S. Contribution of Western Europe, the USA and the USSR to the study of the relief of the Earth's surface by mathematical methods // Relief of the Earth and mathematics. M.: Mir, 1981. 253 p.

3. Lisetsky F. N. Space-time organization of agroland shafts. Belgorod, 2000. 302 p.

4. Moskovkin V. M., Zhuravka A. V. Pierre Francois Ferhulst - the forgotten discoverer of the law of logistic growth and one of the founders of economic dynamics // Original research: scientific-practical. electron. magazine. 2020. V. 10. № 7. P. 207-218.

5. Panov V. I. Landscape and geographical methodology (geographical principle of V. V. Dokuchaev) resource management and transformation of the steppe unprotected agroland shaft into an improved nature-like anti-erosion agroland shaft of the forest-steppe type // Izvestia of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. V. 20. № 2 (3). P. 511-528.

6. Rulev A. S., Yuferev V. G. Thermodynamics and modeling of transition zones in agroecosystems // Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversitetskiy complex. 2016. № 2 (42). P. 34-40.

7. Rulev A. S., Ruleva O. V., Ovechko N. N. Versatility of the logistic function in modeling the forecast of the development of natural and anthropogenic systems // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2015. № 5. P. 67-70.

8. Rulev A. S., Yuferev V. G. Geo-information mapping of transitional natural zones (ecotons) // Scientific notes of the Tauride National University named after V. I. Vernadsky. Geography series. 2014. V. 27 (66). № 2. P. 163-169.

9. Biswajit Bera, Soumik Saha, Sumana Bhattacharjee Forest cover dynamics (1998 to 2019) and prediction of deforestation probability using binary logistic regression (BLR) model of Silabati-watershed, India. 2020.100034 .

10. Culling W. E. H. Analytical theory of erosion // J. Geol. 1960. Vol. 68. № 3.

11. Genetic analysis of the seed dehydration process in maize based on a logistic model / Shuangyi Yin, Jun Liu [et al.]. 2019. No 06. P. 011.

12. Logistic model outperforms allometric regression to estimate biomass of xerophytic shrubs / Ma, Chuan Yuan, Jiayu Zhou, Yan Li, Guangyao Gao, Bojie Fu. 2021. 108278.

13. Optimisation of Logistic Model Using Geographic Information Systems: A Case Study of Biomass-based Combined / Jixianghang, Xiaolei Zhang [et al.] // Heat&Power Generation in China https. 2022.100060.

14. Ruleva O. V., Rulev G. A. Relationship Between Air Temperature and Maize Growth Function // Anthropogenic transformation of geospace: Nature, Economy, Society: Advances in Engineering research. Proceeding of IV international Scientific and Practical Conference. 2019. P. 253-256.

15. Scheidegger A. E. Theoretical geomorphology. Berlin: Heidelberg, 1970. 435 p.