



DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu11.2015.1.7>

УДК 528.9: 574.9

ББК 28.085я6

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ПЕРЕХОДНЫХ ПРИРОДНЫХ ЗОН (ЭКОТОНОВ)¹

Рулев Александр Сергеевич

Доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАСХН, заместитель директора, Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт
rulev54@rambler.ru
просп. Университетский, 97, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Юферев Валерий Григорьевич

Доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт
yuuferev1@rambler.ru
просп. Университетский, 97, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Ландшафтные структуры пространственно локализованы в зональных катенах. Таким катенам присущи определенные устойчивые признаки, отражающие зависимость комплекса природных условий и процессов от географической широты. Однако границы зон имеют пространственно-временное смещение, связанное с цикличностью глобальных климатических процессов. Ландшафты в таких переходных зонах (эктонах) априорно можно считать неустойчивыми. Границы экотонov предложено определять через связь радиационного потока тепла на суше (R) с нормированной географической широтой суббореального пояса (x), которая описывается уравнением энергетического баланса, выраженным логистической функцией $R = A / [1 + 0,72 \exp(4,25 - Bx)] + C$.

Ключевые слова: катена, экотон, ландшафт, устойчивость, граница, зона, поток, логистическая функция.

Ландшафтная зона отражает зависимость комплекса природных условий и процессов от географической широты, однако четко выраженных границ таких зон не существует, в пограничных областях они име-

ют пространственно-временную эволюцию, обусловленную цикличностью глобальных климатических процессов (см.: [1; 2; 8; 12]). В таких пограничных областях, которые можно назвать переходными зонами (эктонами),

могут присутствовать признаки соседних природных зон.

Характер связей в ландшафтах экотонов приводит к появлению в динамических системах таких переходных зон 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 (см.: [3; 5–7; 11]).

Таким образом, ландшафты в экотонах априорно можно считать неустойчивыми. Антропогенное воздействие на такие ландшафты чаще всего приводит к их деградации. Выявление границ таких переходных зон, определяемых глобальными факторами (такими, как радиационный поток тепла и радиационный индекс сухости), дает возможность разделить природную зону на потенциально устойчивые и потенциально неустойчивые части для планирования мер по предотвращению деградации локализованных в них ландшафтов.

В результате исследования был разработан и запатентован «Способ картографирования природных переходных зон (экотонов)», патент RU № 2507602 [10], суть которого заключается в картографировании переходных зон (экотонов) [9] разного пространственного уровня в суббореальных ландшафтах, включающем определение широты географических зон на суше по радиационному потоку тепла и радиационному индексу сухости [4; 13], выделение внутри каждого широтного пояса границ природных зон, соответствующих определенным значениям радиационного индекса сухости. При этом широту границ переходных зон (экотонов) между географическими зонами определяют через связь радиационного потока тепла на суше (R) с нормированной географической широтой суббореального пояса (x) (см.: [14–20]), которая описывается уравнением энергетического баланса географических зон, выраженным логистической функцией

$$R = A / [1 + 0,72 \exp(4,25 - Bx)] + C,$$

где A – коэффициент радиационного баланса, МДж/м²кг; B – коэффициент зональности; C – минимальный годовой радиационный поток тепла, МДж/м²кг.

За ноль (0) нормированного широтного диапазона принята широта 90°, а за единицу (1) широта 0° (экватора). Для северного полушария в широтном диапазоне от 0 до 90° ($x = 1 \dots 0$) параметры $A = 2,81$; $B = 8,51$; $C = 0,28$. Картографирование границ переходных зон (экотонов) между географическими зонами осуществляют следующим образом: по нулевому значению второй производной определяют широту центра экотона первого пространственного уровня, а по ее экстремумам – широту нижней и верхней границ экотона первого пространственного уровня, по нулевым значениям третьей и последующих производных устанавливают широты центров межзональных экотонов, соответствующего пространственного уровня, по экстремумам этих производных определяют широту границ переходных зон (экотонов) и выделяют их широтный диапазон, после чего наносят на картографическую основу линии, соответственно соединяющие полученные значения широт одноименных границ и центров, отображая положение переходных зон (экотонов). Выделение переходных зон (экотонов) разного пространственного уровня в суббореальных ландшафтах проводят на основании анализа производных логистической функции, при этом количество производных определяется количеством существующих природных ландшафтных зон.

Логистическая кривая имеет точку перегиба, соответствующую максимуму первой производной, в момент перехода возрастающей скорости процесса в убывающую. Анализ производных позволяет установить значения широт, характеризующих изменениями радиационного потока тепла.

Первая производная $R'(x)$ на рисунке 1 определяет скорость изменения радиационного потока тепла и имеет максимум, характеризующий ее переход от нарастания к убыванию, что позволяет установить широтный центр экотона. Вторая производная $R''(x)$ на рисунке 2 характеризует ускорение процесса и в точке перегиба функции $R(x)$ вторая производная равна нулю. Оно достигает максимума и минимума в точках перегиба функции $R'(x)$. Значения широты в точках экстремумов соответствуют верхней и нижней границам зоны перехода.

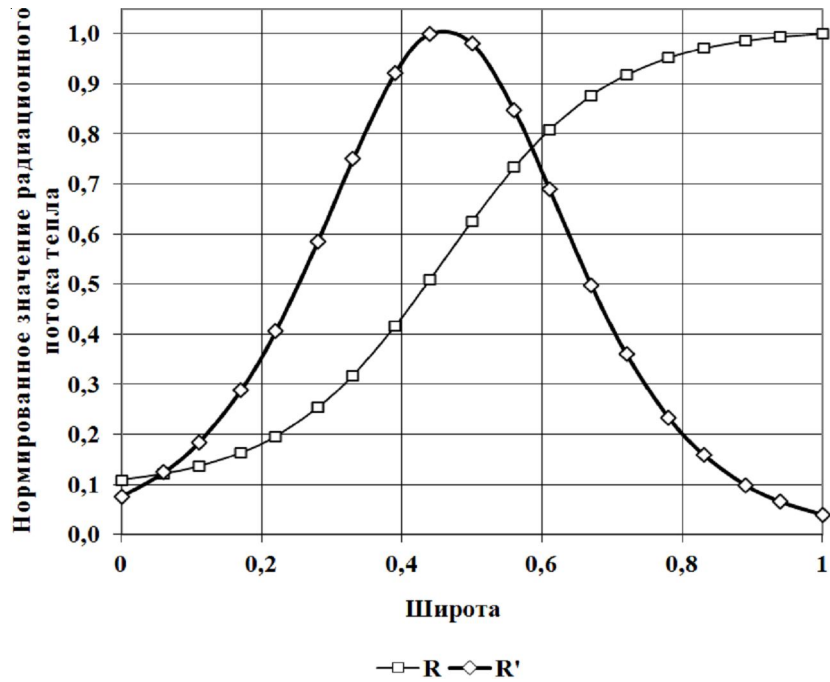


Рис. 1. Нормированная первая производная распределения радиационного потока тепла на суше по нормированной географической широте

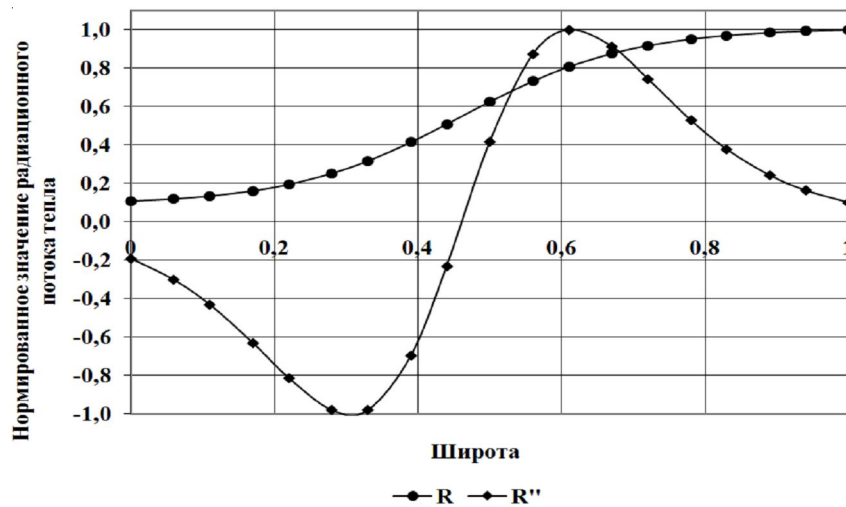


Рис. 2. Нормированная вторая производная распределения радиационного потока тепла на суше по нормированной географической широте

Третья производная $R'''(x)$, а также четвертая, пятая, шестая, седьмая и последующие (рис. 3) используются для выделения межзональных экотонных с установлением их географических координат.

Таким образом, использование предложенного аналитического способа дает возможность определения границ переходных

природных зон (экотонных), ландшафты в которых априори неустойчивы, вследствие чего велика вероятность возникновения процессов их деградации при воздействии неблагоприятных факторов. Результаты исследования дают возможность определить экотонные и одновременно, с использованием ГИС-технологий, выявить очаги деградации.

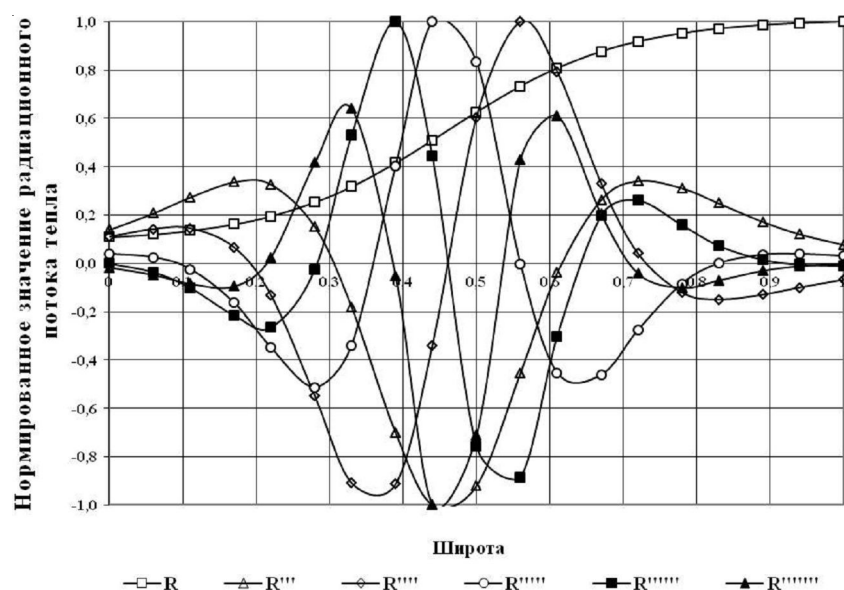


Рис. 3. Нормированные третья, четвертая, пятая, шестая и седьмая производные распределения радиационного потока тепла на суше по нормированной географической широте

ПРИМЕЧАНИЕ

¹ Работа поддержана РФФИ, грант № 14-45-01606.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арманд, Д. Л. Географическая среда и рациональное использование природных ресурсов / Д. Л. Арманд. – М. : Наука, 1983. – 240 с.
2. Бudyko, М. И. Глобальная экология / М. И. Бudyko. – М. : Мысль, 1977. – 327 с.
3. Виноградов, Б. В. Основы ландшафтной экологии / Б. В. Виноградов. – М. : ГЕОС, 1988. – 418 с.
4. Волокитин, А. И. Тепловое излучение на наноуровне. Теория и приложения : монография / А. И. Волокитин. – Самара : Изд-во «Самарский университет», 2008. – 240 с.
5. Исаченко, А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А. Г. Исаченко – М. : Высш. шк., 1991. – 366 с.
6. Коломыц, Э. Г. Зонально-поясной экотон в системе больших равнинных водосборов (на примере Волжского бассейна) / Э. Г. Коломыц // Экотоны в биосфере. – М. : РАН, 1997. – С. 34–50.
7. Мильков, Ф. Н. Природные зоны СССР / Ф. Н. Мильков. – М. : Мысль, 1977. – 296 с.
8. Мордкович, В. Г. Степные катены / В. Г. Мордкович, Н. Г. Шашохина, А. А. Титлянова. – Новосибирск : Наука, 1985. – 117 с.
9. Николаев, В. А. Ландшафтный экотон в Прикаспийской полупустыне / В. А. Николаев, И. В. Копыл, Г. В. Линдемман // Вестник Московского госу-

дарственного университета. Серия 5, География. – 1987. – № 2. – С. 34–39.

10. Пат. RU № 2507602 С1 Российская Федерация, МПК G09В 29/00 (2006.01). Способ картографирования природных переходных зон (экотонов) / Рулев А. С., Юферев В. Г., Юферев М. В., Рулев Г. А. ; заявитель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации Россельхозакадемии (РУ). – 2012136002/12. – Заявл. 21.08.2012 ; опубл. 20.02.2014, приоритет от 21.08.2012, Бюл. № 5. – 7 с.

11. Рябчиков, А. М. Физическая география материков и океанов / А. М. Рябчиков. – М. : Высш. шк., 1988. – 562 с.

12. Типы ландшафтных территориальных структур / Г. И. Швeбс [и др.] // Физическая география и геоморфология. – Киев : Изд-во Киев. гос. ун-та, 1986. – Вып. 33. – С. 109–115.

13. Щербаков, Ю. А. Поступление и отражение прямой солнечной радиации на неодинаково ориентированных склонах в разных условиях / Ю. А. Щербаков // Влияние экспозиции на ландшафты. – Пермь, 1970. – 207 с.

14. Albedo effect on radiative errors in air temperature measurements / Hendrik Huwald, Chad W. Higgins, Marc-Olivier Boldi, Elie Bou-Zeid, Michael Lehning and Marc B. Parlange // Water resources research. – 2009. – Vol. 45, w08431. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2008wr007600>.

15. Anderson, S. P. Radiative heating errors in naturally ventilated air temperature measurements made from buoys / S. P. Anderson, M. F. Baumgartner // J. Atmos. Oceanic Technol. – 1998. – № 15. – P. 157–173. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/1520-0426>.

16. Brutsaert, W. The unstable surface layer above forest: Regional evaporation and heat flux / W. Brutsaert, M. B. Parlange // *Water Resour. Res.* – 1992. – № 28. – P. 3129–3134. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/92WR01860>.

17. Erell, E. Measurement of air temperature in the presence of a large radiant flux: An assessment of passively ventilated thermometer screens / E. Erell, V. Leal, E. Maldonado // *Boundary Layer Meteorol.* – 2005. – № 114. – P. 205–231. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10546-004-8946-8>.

18. Fleagle, R. G. An Introduction to Atmospheric Physics / R. G. Fleagle, J. A. Businger. – San Diego : Academic, 1980. – 432 p.

19. Georges, C. Ventilated and unventilated air temperature measurements for glacier-climate studies on a tropical high mountain site / C. Georges, G. Kaser // *J. Geophys. Res.* – 107 p. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002503>.

20. Kaimal, J. C. Another look at sonic thermometry / J. C. Kaimal, J. E. Gaynor // *Boundary Layer Meteorol.* – 1991. – № 56. – P. 401–410. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00119215>.

REFERENCES

1. Armand D.L. *Geograficheskaya sreda i ratsionalnoe ispolzovanie prirodnykh resursov* [Geographical Environment and Rational Use of Natural Resources]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 240 p.

2. Budyko M.I. *Globalnaya ekologiya* [Global Ecology]. Moscow, Mysl Publ., 1977. 327 p.

3. Vinogradov B.V. *Osnovy landshaftnoy ekologii* [The Basics of Landscape Ecology]. Moscow, GEOS Publ., 1988. 418 p.

4. Volokitin A.I. *Teplovoe izluchenie na nanourovne. Teoriya i prilozheniya: monografiya* [Thermal Radiation at the Nanoscale. The Theory and Applications: Monograph]. Samara, Izd-vo "Samarskiy universitet", 2008. 240 p.

5. Isachenko A.G. *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe rayonirovanie* [Landscape Studies and Physical and Geographical Zoning]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991. 366 p.

6. Kolomyts E.G. Zonalno-poyasnoy ekoton v sisteme bolshikh ravninnykh vodosborov (na primere Volzhskogo basseyna) [The Zonal and Belt Ecotone in the System of Large Lowland Catchments (on the Example of the Volga Basin)]. *Ekotony v biosfere* [Ecotones in the Biosphere]. Moscow, RAN Publ., 1997, pp. 34–50.

7. Milkov F.N. *Prirodnye zony SSSR* [Natural Zones of the USSR]. Moscow, Mysl Publ., 1977. 296 p.

8. Mordkovich V.G., Shashokhina N.G., Titlyanova A.A. *Stepnye kateny* [The Steppe Catenas]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985. 117 p.

9. Nikolaev V.A., Kopyl I.V., Lindeman G.V. Landshaftnyy ekoton v Prikaspiyskoy polupustyne

[Landscape Ecotone in the Caspian Semi-Desert]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, 1987, no. 2, pp. 34–39.

10. Rulev A.S., Yuferev V.G., Yuferev M.V., Rulev G.A. *Pat. RU № 2507602 S1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G09V 29/00 (2006.01); Sposob kartografirovaniya prirodnykh perekhodnykh zon (ekotonov)* [Patent RU no. 2507602 S1 Russian Federation, IPC G09V 29/00 (2006.01). The Method of Mapping Natural Transition Zones (Ecotones)]. *Zayavl. August 21, 2012, Opubl. February 20, 2014, byul. no. 5. 7 p.*

11. Ryabchikov A.M. *Fizicheskaya geografiya materikov i okeanov* [Physical Geography of Continents and Oceans]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1988. 562 p.

12. Shvebs G.I. et al. Tipy landshaftnykh territorialnykh struktur [The Types of Landscape Territorial Structures]. *Fizicheskaya geografiya i geomorfologiya* [Physical Geography and Geomorphology]. Kiev, Izd-vo Kievskogo gosudarstvennogo un-ta, 1986, iss. 33, pp. 109–115.

13. Shcherbakov Yu.A. Postuplenie i otrazhenie pryamoy solnechnoy radiatsii na neodnakovo orientirovannykh sklonakh v raznykh usloviyakh [The Incoming and Reflecting the Direct Solar Radiation at Differently Oriented Slopes in Different Conditions]. *Vliyanie ekspozitsii na landshafty* [The Exposition Influence on Landscapes]. Perm, 1970. 207 p.

14. Huwald H., Higgins C.W., Boldi M.-O., Bou-Zeid E., Lehning M., Parlange M.B. Albedo Effect on Radiative Errors in Air Temperature Measurements. *Water Resources Research*, 2009, vol. 45, pp. 1–13, w08431. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2008 wr 007600>.

15. Anderson S.P., Baumgartner M.F. Radiative Heating Errors in Naturally Ventilated Air Temperature Measurements Made From Buoys. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 1998, no. 15, pp. 157–173. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/1520-0426>.

16. Brutsaert W., Parlange M.B. The Unstable Surface Layer Above Forest. Regional Evaporation and Heat Flux. *Water Resour. Res.*, 1992, no. 28, pp. 3129–3134. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/92WR01860>.

17. Erell E., Leal V., Maldonado E. Measurement of Air Temperature in the Presence of a Large Radiant Flux. An Assessment of Passively Ventilated Thermometer Screens. *Boundary Layer Meteorol.*, 2005, no. 114, pp. 205–231. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10546-004-8946-8>.

18. Fleagle R.G., Businger J.A. *An Introduction to Atmospheric Physics*. San Diego, Academic, 1980. 432 p.

19. Georges C., Kaser G. Ventilated and Unventilated Air Temperature Measurements for Glacier-Climatic Studies on a Tropical High Mountain Site. *J. Geophys. Res.* 107 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002503>.

20. Kaimal J.C., Gaynor J.E. Another Look at Sonic Thermometry. *Boundary Layer Meteorol.*, 1991, no. 56, pp. 401–410. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00119215>.

**ANALYTICAL DETERMINATION OF THE BOUNDARIES
OF TRANSITION NATURAL ZONES (ECOTONES)****Rulev Aleksandr Sergeevich**

Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Deputy Director,
All-Russian Scientific and Research Institute of Agroforestry
rulev54@rambler.ru
Prosp. Universitetsky, 97, 400062 Volgograd, Russian Federation

Yuferev Valeriy Grigoryevich

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chief Researcher,
All-Russian Scientific and Research Institute of Agroforestry
vyuferev1@rambler.ru
Prosp. Universitetsky, 97, 400062 Volgograd, Russian Federation

Abstract. The morphological units that are part of the catena, are recognized in accordance with the response to the geomorphological and soil processes. The spatial relationship is the main unit between them. In this regard, the landscape patterns acquire a cascade type, and their main link becomes the zonal catena, which has specific stable features, reflecting the dependence of the complex of natural conditions and processes of latitude. However, clear-cut boundaries do not exist – they have spatial and temporal displacement, associated with the cyclical nature of the global climatic processes. The landscapes in these transition zones (ecotones) a priori can be considered unstable. The detection of ecotones boundaries provides the opportunity to divide natural zones to potentially stable and potentially unstable parts for planning measures on preventing the degradation of landscapes localized in them. The latitude of the ecotones localization can be determined through the connection of the radiation heat flux on land (R) with the normalized geographical latitude of the subboreal belt (x), which is described by the equation of the energy balance, expressed in the logistic function $R = A / [1 + 0,72 \exp(4,25 - Bx)] + C$.

Key words: catena, ecotone, landscape, sustainability, boundary, zone, flow, logistic function.