

## Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата

К. Ш. КАЗЕЕВ, Ю. С. КОЗУНЬ, С. И. КОЛЕСНИКОВ

Южный федеральный университет  
344006, Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105  
E-mail: kazeev@sfedu.ru

Статья поступила 20.06.2013

Принята к печати 11.04.2014

### АННОТАЦИЯ

Установлена тесная корреляция между степенью аридности климата и биологическими свойствами почв юга России. Численность микроартропод, микроорганизмов, содержание гумуса, активность ферментов, значения интегрального показателя биологического состояния (ИПБС) почв снижаются по мере усиления степени аридности в ряду черноземы → каштановые → светло-каштановые → бурые полупустынные почвы. Для поверхностных горизонтов почв изменение значений ИПБС между крайними значениями градиента аридности климата составляет 41 %. Различие между почвами усиливается при учете биологической активности всего почвенного профиля. При этом разница в значениях ИПБС между почвами с разными климатическими условиями увеличивается до 75 %.

**Ключевые слова:** аридные почвы, биологические свойства почв, биодиагностика, климат, пространственная дифференциация.

В последнее время внимание ученых привлечено к проблеме зависимости биоты и биологической активности почв от климатических параметров [Henry, 2012], особенно в связи с опустыниванием [Bastida et al., 2006] и изменениями климата [Sowerby et al., 2005; Кудеяров и др., 2009; Румянцев и др., 2013].

Биота и биологическая активность почв в значительной степени зависят от экологических факторов среды. Установлена возможность применения биологических показателей для диагностики и индикации экологического состояния почв, в частности фауны [Гиляров, 1965; Мордкович и др., 2003; Андриевский,

Сысо, 2012], микроорганизмов [Казеев и др., 2006], ферментативной активности. Выявлено, что основными факторами, влияющим на микробное сообщество и ферментативную активность почв, являются содержание гумуса и влажность [Brockett et al., 2012].

Несмотря на то, что особенности влияния аридности климата на почвы и почвенный покров изучались в ряде работ [Волобуев, 1946, 1956; Димо, 1988; Вальков и др., 2008а], многие аспекты до сих пор не раскрыты. С возрастанием степени аридности климата в сходных по генезису почвах в направлении с запада на восток происходят су-

ществленные изменения в структуре гуминовых кислот [Кленов, Чимитдоржиева, 2011]. Б. Р. Стриганова [2009] установила влияние континентальности климата на животное население почв Евразии и изменение ареалов видов при изменении климатического тренда. Отмечено снижение общей зоомассы по мере нарастания аридности в степях России [Стриганова, 2005] и различных природных зонах Китая [Wang et al., 2013]. Выявлены закономерности изменения биомассы, обилия и разнообразия прямокрылых в зональных степных сообществах в зависимости от аридности климата [Зиненко, Стриганова, 2011].

Большая работа проведена для установления закономерностей пространственного распределения растительности, биоты, содержания гумуса и других показателей в разных природных зонах Западной Сибири [Сергеев и др., 2011]. Установлено, что биомасса функциональных групп беспозвоночных животных Западно-Сибирской равнины менее дифференцирована в сопоставлении с растительностью и гумусом. Есть работы, позволяющие напрямую выявить влияние потепления на изменения границ подзон растительности [Румянцев и др., 2013] и ареалов почв [Вальков и др., 2008а].

Несмотря на проводимые в последние годы [Казеев и др., 2005, 2006] исследования биологических свойств почв на юге России, многие районы до сих пор не изучены. Степные и полупустынные ландшафты юга России распространены на значительном расстоянии от Атлантического океана и характеризуются аридным климатом, степень континентальности которого возрастает в восточном направлении. Прежде всего это касается аридных территорий востока и юго-востока Южного федерального округа. Цель настоящего исследования – определение зависимости биологических свойств почв юга Европейской части России от степени аридности климата. Результаты исследований позволят прогнозировать изменение биоты и биологической активности в условиях современных трендов изменения климата.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в Ростовской и Астраханской областях и Республике Калмы-

кия. Изучена трансекта общим направлением запад-восток, пролегающая от пос. Персиановский до г. Астрахань, на протяжении которой в значительной мере изменяются климат, ландшафты и почвенный покров (рис. 1, табл. 1). Исследуемая территория расположена примерно на одной широте, поэтому получает одинаковое количество солнечной энергии. Изменение природных зон с настоящей степной на сухостепную и далее на восток до опустыненных степей происходит в результате изменения континентальности климата. Соответственно изменяется и почвенный покров от черноземов до каштановых и бурых полупустынных почв [Вальков и др., 2008б]. В последние 10–15 лет на территории северо-западной части Прикаспия отмечена тенденция к усилению гумидности, в связи с чем в пределах полупустынь возникли предпосылки для развития сухих степей [Братков и др., 2008].

Для изучения морфологии почв и отбора почвенных образцов в августе 2009 г. закладывались полнопрофильные разрезы и прикопки к ним на типичных по рельефу и растительности ключевых участках. Названия почв даны по классической классификации [Классификация..., 1977; Вальков и др., 2008б].



Рис. 1. Картограмма исследуемых участков: 1 – Персиановский; 2 – Зимовники; 3 – Ремонтное; 4 – Элиста; 5 – Яшкуль; 6 – Хулхута; 7 – Барханы; 8 – Линейное; 9 – Астрахань

Т а б л и ц а 1  
Исследуемые участки

Населенный пункт	Географические координаты		Рельеф	Почва	Проективное покрытие растительности, %
	с. ш.	в. д.			
Пос. Персиановский, Ростовская обл.	47°30,532	40°09,340	Приазовская наклонная равнина	Чернозем обыкновенный карбонатный	100
Пос. Злимовники, Ростовская обл.	47°08,554	42°30,750	Сало-Маньчская гряда	Каштановая	80
Пос. Ремонтное, Ростовская обл.	46°32,279	43°37,862	Сало-Маньчская гряда	Каштановая	80
Элиста, Калмыкия	46°18,152	44°27,316	Ергенинская возвышенность	Светло-каштановая солонцеватая	70
Пос. Яшкуль, Калмыкия	46°10,899	45°17,191	Равнинный участок Прикаспийской низменности	Бурая полупустынная солонцеватая	50
Пос. Хулхута, Калмыкия	46°19,420	46°15,672	Равнинный участок Прикаспийской низменности	Бурая полупустынная солонцеватая	30
Пос. Барханы, Астраханская обл.	46°17,592	46°41,775	Развееваемые барханы	Бурая полупустынная песчаная	20
Пос. Линейное, Астраханская обл.	46°16,045	47°22,424	Бугор Бэра на Прикаспийской низменности	Бурая полупустынная солонцеватая	30
Астрахань	46°15,899	47°49,100	Бугор Бэра на Прикаспийской низменности	Бурая полупустынная солонцеватая карбонатная	50

Согласно общепринятым методам определялись содержание гумуса, рН, ферментативная активность, численность микробиоты, численность микроартропод, дыхание и продуктивность почвы [Казеев и др., 2003]. Содержание гумуса определяли методом Тюрина в модификации Никитина. Реакцию почв (рН) и окислительно-восстановительный потенциал определяли потенциометрическим методом. О ферментативной активности почв судили по активности ферментов разных классов: оксидоредуктаз (каталаза, дегидрогеназа) и гидролаз ( $\beta$ -фруктофуранозидаза (инвертаза)). Численность бактерий определяли методом посева на мясопептонном агаре (МПА). Численность грибов учитывали на подкисленной среде Чапека. Азотфиксирующие бактерии определяли методом комочков образования на безазотистой среде Эшби. Дыхание почв определяли по Макарову в модификации Галстяна. Интенсивность начального роста проростков редиса (длина корней, длина зеленых побегов) исследовали в чашках Петри в течение 5 сут. Все лабораторные анализы проводились в трехкратной повторности.

Для определения численности микроартропод отбирали почвенные образцы (по 10 на каждом участке типа почв) на глубине 0–20 см, послойно, через 5 см (объемом 125 см<sup>3</sup>). Экстракцию микроартропод проводили в воронках без электрического обогрева в течение 7 сут.

Поскольку биологические свойства почв отличаются значительным природным варьированием, все образцы отбирались в течение одного дня в сходных погодных условиях. Для определения различий в уровне биогенности и биологической активности разных почв рассчитывали интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы. Этот показатель оценивает совокупность биологических показателей, выраженных в разных единицах, и позволяет абстрагироваться от случайных колебаний, характерных для большинства биологических параметров [Казеев и др., 2003]. Для расчета ИПБС максимальное значение каждого из показателей в выборке принимается за 100 %, и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в остальных образцах.

$$B_1 = (B_x / B_{\max}) \times 100 \%,$$

где  $B_1$  – относительный балл показателя,  $B_x$  – фактическое значение показателя,  $B_{\max}$  – максимальное значение показателя.

После этого рассчитывается средний оценочный балл изученных показателей. ИПБС почвы находится аналогично относительно баллу показателя.

Индексы аридности де Мартонна и Емберже рассчитывали по представленным далее формулам [Евстигнеев, 1999; Дажо, 1975].

Индекс аридности Емберже:

$$Ia = (M + m)(M - m)/100P,$$

где  $M$  – средняя максимальная температура июля,  $m$  – средняя минимальная температура января,  $P$  – годовое количество осадков (в мм);

индекс аридности де Мартонна:

$$Ia = P/(T + 10),$$

где  $P$  – годовое количество осадков,  $T$  – среднегодовая температура.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что биологические свойства почв аридной зоны изменяются в широких пределах. Минимальная биологическая активность отмечена в песчаной разновидности бурой полупустынной почвы. Суглинистые разновидности зональных бурых полупустынных и каштановых почв обладают значительно более высокой биологической активностью. Максимальные значения

исследуемых показателей характерны для черноземов обыкновенных Ростовской обл. (ООПТ “Персиановская степь”).

Исследуемая территория отнесена П. П. Кречетовым и О. В. Чернецовой [2007] на карте эколого-педотермического районирования Восточно-Европейской равнины к группе глубоко-прогреваемых очень теплых почв степной зоны и подзоны северных пустынь. Среднегодовые температуры в верхнем 20-сантиметровом слое почв составляют от 10 до 12 °С и слабо изменяются на исследуемой территории [Справочник..., 1966б; Кречетов, Чернецова, 2007]. Более значительные изменения отмечены для среднегодовой амплитуды температур верхнего слоя почв.

Проведенный анализ климатических параметров показал, что для выявления влияния аридности климата на биоту и биологическую активность почв больше подходят среднегодовая амплитуда температур воздуха и, еще показательнее, годовое количество осадков, которое в значительной степени уменьшается с запада на восток от 431 мм в пос. Персиановский до 160 мм в Астрахани (табл. 2).

Аридность климата рассчитывалась по ряду климатических показателей между начальной точкой отсчета (памятник природы “Персиановская степь”) и исследуемыми участками, вплоть до Астрахани. Все рассчитанные индексы и коэффициенты значительно изменялись в направлении с запада на восток на протяжении почти 1000 км (см. табл. 2). Как и следовало ожидать, на восточной части исследуемой территории значения индексов аридности были наименьши-

Т а б л и ц а 2

Изменение климатических показателей исследуемой территории по направлению запад-восток

Населенный пункт	Годовое количество осадков, мм	Средняя годовая амплитуда температур	Индекс аридности де Мартонна	Индекс аридности Ембердже
Персиановский	431	28,9	24,8	3805
Зимовники	379	30,2	19,0	3116
Ремонтное	322	30,2	15,3	2772
Элиста	315	30,9	15,8	2698
Яшкуль	243	31,3	11,6	2370
Хулхута	221	32,2	10,5	2124
Астрахань	160	31,9	7,3	1368

П р и м е ч а н и е. По [Справочник по климату СССР, 1966а, б].

ми. При передвижении на восток климатические показатели отражали более суровые условия обитания для организмов. Коэффициент корреляции расстояния со среднегодовой амплитудой температур и годовым количеством осадков составляет  $-0,96$  и  $0,99$  соответственно.

Биологические показатели аридных почв юга Европейской территории России по шкалам Д. Г. Звягинцева имеют низкие значения. В сравнении с почвами семиаридных степей – черноземами обыкновенными – исследуемые почвы отличаются значительно более низким уровнем биологической активности, как в настоящей работе, так и по многолетним данным [Казеев и др., 2004, 2006].

Выявлено, что большинство биологических свойств почв в значительной степени определяются климатическими параметрами. В зависимости от степени аридности климата исследуемые почвы имеют разные значения численности микроартропод, микробиоты, содержания гумуса, ферментативной активности и ИПБС (табл. 3, 4, рис. 2).

В зональных почвах максимальная численность микроартропод ( $56,5$  тыс. экз./см<sup>2</sup>) отмечена в западной части исследуемого маршрута в семиаридных почвах – черноземах обыкновенных Персиановской степи Ростовской обл. (см. табл. 3). Минимальная численность наблюдалась в экстрааридных бурых полупустынных почвах Прикаспийской низменности, в 11 раз меньше, чем в черноземах. Разница в численности между сухостепными каштановыми почвами и бурыми полупустынными составляет около 50 %. Среди микроартропод доминируют панцирные и га-

мазовые клещи. По мере нарастания аридности климата доля ногохвосток от общей численности микроартропод снижается с 12 % в черноземах до 7 % в бурых полупустынных почвах. Песчаные азональные почвы юга России отличаются от зональных почв значительно меньшей численностью микроартропод. В среднем численность микроартропод в азональных почвах в 3 раза меньше, чем в окружающих зональных.

Гидротермические параметры почв в момент исследования характеризуются типичными для августа условиями, т. е. высокими температурами и низкой влажностью. При этом значения показателей температуры и влажности распределяются в профилях почв по-разному. Температура верхнего слоя (0–5 см) очень высокая,  $30-35$  °С в суглинистых почвах и более  $40$  °С в песчаной почве. Вниз по профилю температура снижается, выравниваясь на глубине 20 см во всех почвах на уровне  $25$  °С, и далее не изменяется. Влажность исследуемых почв различается сильнее, хотя и находится на очень низком уровне. Вследствие перегрева поверхностные горизонты почв высушены практически до воздушно-сухого состояния. Поэтому влажность увеличивается в средней и нижней частях почвенного профиля. Сочетание гидротермических и эдафических факторов формирует сложный характер изменения обилия биоты и биологической активности в пределах почвенного профиля. Часто наблюдались инверсии биологических показателей, значения которых ниже в верхней перегретой и иссушенной части профиля и увеличены в средней и нижней частях профиля. В бурых по-

Т а б л и ц а 3

Численность микроартропод в почвах юга России, слой 0–15 см,  $n = 10$

Почвы	Панцирные клещи	Гамазовые клещи	Ногохвостки	Акароидно-тромбидиформный комплекс клещей	Прочие беспозвоночные
Чернозем, пос. Персиановский Ростовская обл.	$13,8 \pm 0,8$	$15,5 \pm 1,2$	$6,3 \pm 0,6$	$13,7 \pm 1,3$	$7,2 \pm 0,7$
Каштановая, пос. Маньч Ростовская обл.	$6,1 \pm 1,5$	$1,7 \pm 1,2$	$1,2 \pm 1,0$	$1,8 \pm 1,2$	$1,6 \pm 1,8$
Светло-каштановая, Элиста Калмыкия	$1,7 \pm 1,5$	$0,8 \pm 0,7$	$0,2 \pm 0,9$	$2,5 \pm 1,0$	$1,3 \pm 0,8$
Бурая полупустынная, пос. Хулхута Калмыкия	$1,4 \pm 1,3$	$1,9 \pm 1,2$	$0,4 \pm 1,0$	$0,9 \pm 0,8$	$0,9 \pm 0,7$
Буропески, Астраханская обл.	$0,49 \pm 1,3$	$0,23 \pm 1,2$	$0,25 \pm 1,4$	$0,54 \pm 1,0$	$0,52 \pm 1,$

Биологические свойства верхних горизонтов исследуемых почв (n = 3)

Почва, местоположение	pH	Содержание гумуса, %	Активность каталазы, мл O <sub>2</sub> /г/мин	Активность дегидрогеназы, мг ТФФ/г/24ч	Численность бактерий, млн/г	Численность грибов, тыс./г	Дыхание почвы, мг CO <sub>2</sub> /100 г	Длина редиса, мм
Чернозем, пос. Персиановский	7,2	8,10	11,2	27,2	7,1	35,3	Не опр.	Не опр.
Каштановая, пос. Зимовники	7,9	2,93	9,8	19,4	Не опр.	Не опр.	8,2	50,2
Каштановая, пос. Ремонтное	7,8	2,88	6,7	24,2	0,90	17,0	4,3	41,4
Светло-каштановая, Элиста	7,6	2,10	6,9	17,2	0,45	13,8	6,2	66,6
Бурая полупустынная, Яшкуль	8,2	1,48	6,7	26,2	0,69	2,1	6,3	44,2
Бурая полупустынная супесчаная, пос. Барханы	8,6	0,04	1,0	3,9	0,01	13,9	6,5	51,7
Бурая полупустынная, пос. Хулхута	8,4	1,16	3,5	21,6	1,04	13,2	6,5	55,8
Бурая полупустынная, пос. Линейное	8,6	0,30	1,6	4,0	0,40	4,9	7,7	57,0
Бурая полупустынная, Астрахань	8,1	0,74	2,5	18,2	1,24	1,3	6,3	66,6

лупустынных почвах Калмыкии максимальная численность микроартропод отмечена в слое 10–20 см, ниже и выше которого она резко снижается. Профильное распределение микробиологических и биохимических свойств в аридных почвах осложнено также наличием карбонатных, солонцовых и солевых горизонтов в нижней части профиля [Казеев, Кузнецова, 2010; Кузнецова, Казеев, 2010].

При движении с запада на восток, при увеличении степени аридности климата отмечено значительное снижение численности микроскопических грибов и интенсивности биохимических процессов. Установлена тесная связь между степенью аридности климата и биологическими показателями (см. рис. 2). Коэффициент корреляции содержания гумуса, активности каталазы и инвертазы иссле-

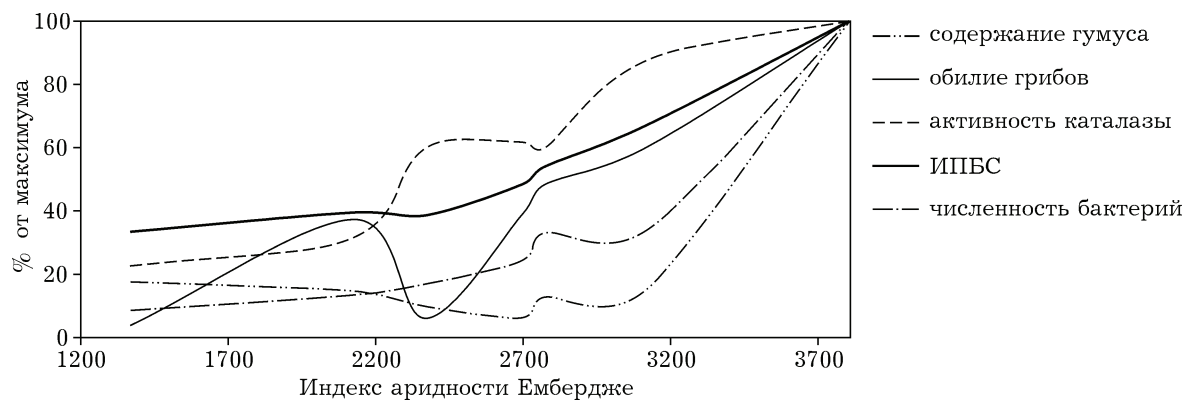


Рис. 2. Влияние климата (по индексу аридности Ембердже) на биологические свойства верхних горизонтов почв юга России



**Коэффициент корреляции биологических показателей верхних горизонтов исследуемых почв с аридностью климата (выделены достоверные значения,  $p < 0,05$ )**

Показатель	Содержание гумуса	Активность каталазы	Активность инвертазы	Активность дегидрогеназы	Численность сапротрофных бактерий	Численность грибов	Обилие азотфиксирующих бактерий	Дыхание почвы	Длина проростков редиса
Индекс аридности де Мартонна	<b>0,91</b>	<b>0,90</b>	<b>0,80</b>	-0,65	<b>-0,78</b>	<b>0,76</b>	<b>0,67</b>	0,21	-0,35
Индекс аридности Ембердже	<b>0,86</b>	<b>0,91</b>	<b>0,71</b>	-0,56	<b>-0,78</b>	<b>0,71</b>	0,57	0,13	-0,51

двух почв разного местоположения в зависимости от климатических показателей очень высок и составляет с индексом аридности де Мартонна 0,91, 0,90, 0,80, а для коэффициента аридности Емберже – 0,86, 0,91, 0,71 (табл. 5). Аналогичные закономерности зависимости биохимических показателей почв территории Прикаспийской низменности от климата отмечались нами и ранее [Казеев, Кузнецова, 2010].

Выявлено разное влияние аридности климата на численность основных групп почвенных микроорганизмов. Значения коэффициента аридности де Мартонна положительно коррелируют с численностью грибов (0,76) и азотфиксирующих бактерий (0,67) и отрицательно – с численностью бактерий (-0,78).

Однако не все биологические свойства исследуемых почв имеют тесную связь с климатическими показателями. Например, для интенсивности начального роста редиса и дыхания почвы не обнаружено зависимости от климата. Данные показатели не являлись информативными по разным причинам. Интенсивность начального роста редиса учитывает размер проростков в первые 5–7 сут опыта, что является недостаточным для оценки типовых различий почв. Этот показатель предназначен для оценки токсического эффекта и входит в перечень индикаторов, применяемых авторами при оценке экологического состояния почв. Интенсивность выделения почвой углекислого газа является лабильным показателем, его интенсивность сильно зависит от погодных условий и времени суток, и в меньшей степени от климата.

Поскольку подробное описание закономерностей влияния климатических параметров на отдельные биологические свойства не могут быть подробно освещены в рамках статьи, для комплексной оценки биологического состояния почв применяли ИПБС. Ранее высокая информативность этого показателя была установлена в эколого-географических исследованиях и при оценке устойчивости почв к антропогенным воздействиям [Казеев и др., 2003, 2005, 2006]. Значения ИПБС, рассчитанного по ряду биологических показателей (включая численность бактерий и грибов, содержание гумуса и активность каталазы, инвертазы и дегидрогеназы, длину редиса), в значительной степени коррелируют с климатическими показателями, характеризующими степень аридности и континентальности климата (см. рис. 2). Тесная прямая связь ИПБС отмечена с индексами аридности де Мартонна (0,97) и Емберже (0,93). Значения ИПБС снижаются по мере усиления степени континентальности и аридности почв в ряду черноземы → каштановые → светло-каштановые → бурые полупустынные почвы (рис. 3). Для поверхностных горизонтов изменения между крайними точками составляют 41 %, что является существенным различием для почв [Казеев и др., 2003]. Еще более усиливается различие при профилно-генетическом подходе с учетом биологической активности всего почвенного профиля (А + В). При этом разница в значениях ИПБС между почвами, формирующимися в разных климатических условиях, составляет 75 %.

Для территории юга России увеличение индекса аридности де Мартонна на единицу

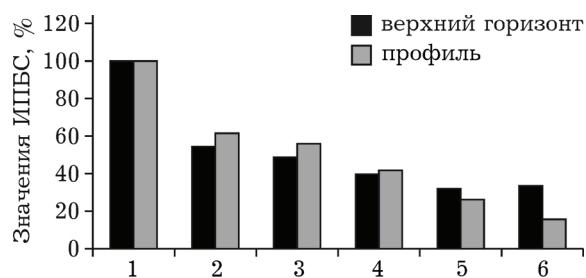


Рис. 3. Изменение ИПБС верхних горизонтов и всего профиля (А + В) почв юга России: 1 – чернозем обыкновенный (Персиановка); 2 – каштановая (Ремонтное); 3 – светло-каштановая сильно-солонцеватая (Элиста); 4 – бурая полупустынная солонцеватая (Хулхута); 5 – бурая полупустынная солонцеватая (Линейное); 6 – бурая полупустынная солонцеватая карбонатная (Астрахань)

характеризуется увеличением количества осадков примерно на 20 мм и снижением среднегодовой температуры на 0,03 °С. Проведенный анализ показал, что при изменении индекса на единицу содержание гумуса в почве меняется на 0,39 %, активность каталазы на 0,5 мл O<sub>2</sub>/г/мин, численность микроскопических грибов на 1,9 тыс./г. Таким образом, на основе полученных данных можно прогнозировать изменения почв в условиях меняющегося климата.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что аридные почвы Европейской части юга России обладают низкой биологической активностью, которая снижается по мере нарастания степени аридности климата. Наряду с некоторыми биологическими индикаторами, показательным является применение интегрированной оценки биологического состояния с учетом мощности гумусовых горизонтов. Ведущим фактором изменения биологических свойств почв является годовая амплитуда температур и среднегодовое количество осадков. По снижению информативности при выявлении влияния климата исследуемые биологические показатели можно расположить в ряд: содержание гумуса ≥ активность каталазы ≥ активность инвертазы > численность микроартропод > численность грибов > численность бактерий > обилие азотфиксирующих бактерий ≥ активность дегидрогеназы.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ (14.А18.21.0187, 14.А18.21.1269), в рамках реализации Программы развития Южного федерального университета и государственной поддержке Президента РФ ведущей научной школы РФ (НШ-5316.2010.4), (НШ-2449.2014.4).

### ЛИТЕРАТУРА

- Андриевский В. С., Сысо А. И. Влияние разных типов антропогенного изменения почв на сообщества панцирных клещей в городских экосистемах // Сиб. экол. журн. 2012. № 6. С. 811–818.
- Братков В. В., Гаджибеков М. И., Атаев З. В. Изменчивость климата и динамика полупустынных ландшафтов Северо-Западного Прикаспия // Изв. Дагестан. гос. пед. ун-та. Естественные и точные науки. 2008. № 4. С. 90–99.
- Вальков В. Ф., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Климатические изменения и почвы юга России // Изв. вузов. Сев-Кав. регион. 2008а. № 6. С. 88–92.
- Вальков В. Ф., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во “Эверест”, 2008б. 276 с.
- Волобуев В. Р. Климатические условия и почвы // Почвоведение. 1956. № 4. С. 25–37.
- Волобуев В. Р. О почвенно-климатических закономерностях на территории СССР // Там же. 1946. № 11. С. 645–648.
- Гиляров М. С. Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1965. 275 с.
- Дажо Р. Основы экологии. М.: Прогресс, 1975. 354 с.
- Димо В. Н. Основные параметры континентальности климата почв равнинной территории СССР // Почвоведение. 1988. № 9. С. 125–131.
- Евстигнеев В. М. Увлажнение территории // Экологический энциклопедический словарь. М.: Ноосфера, 1999. С. 685–686.
- Зиненко Н. В., Стриганова Б. Р. Закономерности зональных изменений пространственной структуры населения прямокрылых насекомых Европейской степи // Зоол. журн. 2011. Т. 90, № 9. С. 1070–1082.
- Казеев К. Ш., Гайдамакина Л. Ф., Овдиенко Р. В., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Зональная изменчивость почв Северного Кавказа // Изв. РАН. Сер. географ. 2006. № 5. С. 36–45.
- Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биология почв юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.
- Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во Рост. гос. ун-та, 2003. 204 с.
- Казеев К. Ш., Кременица А. М., Колесников С. И., Казадаев А. А., Булышева Н. И., Утянская Н. И., Внукова Н. В., Вальков В. Ф. Биологические свойства почв каштаново-солонцовых комплексов // Почвоведение. 2005. № 4. С. 464–474.
- Казеев К. Ш., Кузнецова Ю. С. Эколого-биологические особенности аридных почв Прикаспийской низменности // Изв. вузов. Сев-Кав. регион. Естественные науки. 2010. № 5. С. 83–85.



- Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
- Кленов Б. М., Чимитдоржиева Г. Д. Влияние континентальности климата на гумусообразование и элементный состав гуминовых кислот автоморфных почв Сибири // Сиб. экол. журн. 2011. № 5. С. 665–671. [Klenov B. M., Chimitdorzhieva G. D. Effect of climate continentality on humus formation and elemental composition of humic acids of automorphic soils of Siberia // Contemporary Problems of Ecol. 2011. Vol. 4, N 5. С. 492–496].
- Кречетов П. П., Чернецова О. В. Эколого-географический анализ температурного режима почв Восточно-Европейской равнины и Предкавказья. М.: Пеликан, 2007. 80 с.
- Кудяров В. Н., Демкин В. А., Гиличинский Д. А., Горячкин С. В., Рожков В. А. Глобальные изменения климата и почвенный покров // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1027–1042.
- Кузнецова Ю. С., Казеев К. Ш. Влияние засоления на биологические свойства гидроморфных почв ильменей Астраханской области // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естественные науки. 2010. № 1. С. 90–93.
- Мордкивич В. Г., Андриевский В. С., Березина О. Г., Марченко И. И. Зоологический метод диагностики почв в северной тайге Западной Сибири // Зоол. журн. 2003. Т. 82, № 2. С. 188–196.
- Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М.; Л.: Наука, 1965. 254 с.
- Румянцев В. Ю., Малхазова С. М., Леонова Н. Б., Солдатов М. С. Прогноз возможных изменений зональных границ растительности европейской России и Западной Сибири в связи с глобальным потеплением // Сиб. экол. журн. 2013. Т. 20, № 4. С. 449–458.
- Сергеев М. Г., Стриганова Б. Р., Мордкивич В. Г., Молдцов В. В., Богомоллова И. Н., Николаева О. Н. Пространственно-типологическая дифференциация экосистем Западно-Сибирской равнины. Сообщение III: наземные беспозвоночные // Там же. 2011. № 4. С. 467–474. [Sergeev M. G., Mordkovich V. G., Bogomolova I. N., Molodtsov V. V., Striganova B. R., Nikolaeva O. N. Spatial-typological differentiation of ecosystems of the West Siberian plain. Communication III: terrestrial invertebrates // Contemporary Problems of Ecol. 2011. N 4. P. 347–354].
- Справочник по климату СССР. Осадки. Ленинград, Гидрометеиздат, 1966а. Вып. 13, ч. 4. 492 с.
- Справочник по климату СССР. Температура воздуха и почвы. Ленинград, Гидрометеиздат. 1966б. Вып. 13, ч. 2. 492 с.
- Стриганова Б. Р. Пространственные вариации функциональной структуры сообществ животного населения степных почв Европейской России // Поволжск. экол. журн. 2005. № 3. С. 268–276.
- Стриганова Б. Р. Пространственное распределение ресурсов животного населения почв в климатических градиентах // Успехи совр. биологии. 2009. Т. 129, № 6. С. 538–549.
- Bastida F., Moreno J. L., Hernandez T., Garcia C. Microbiological degradation index of soils in a semi-arid climate // Soil Biol. & Biochem. 2006. Vol. 38. P. 3463–3473.
- Brockett V. F. T., Prescott C. E., Grayston S. J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada // Ibid. 2012. Vol. 44. P. 9–20.
- Henry H. A. L. Soil extracellular enzyme dynamics in a changing climate // Ibid. 2012. Vol. 47. P. 53–59.
- Sowerby A., Emmetta B., Beier C., Tietemac A., Penuelas J., Estiarted M., Van Meeterenc M. J. M., Hughes S., Freeman C. Microbial community changes in heathland soil communities along a geographical gradient: interaction with climate change manipulations // Ibid. 2005. Vol. 37. P. 1805–1813.
- Wang N., Gao J., Xu S.S., Zhang W.P., Wang G.X. Biomass-density relationship varies with water use efficiency across an aridity gradient // Сиб. экол. журн. 2013. Т. 20, № 4. С. 481–485.

## Application of an Integral Index to Evaluate the Spatial Differentiation of Biological Properties of Soils Along an Aridity Gradient in the South of Russia

K. Sh. KAZEEV, Yu. S. KOZUN', S. I. KOLESNIKOV

*Southern Federal University  
344006, Rostov-on-Don, Bolshaya Sadovaya str., 105  
E-mail: kazeev@sfedu.ru*

A close correlation between the degree of aridity and biological properties of soils in southern Russia was detected. The number of microarthropoda and microorganisms, humus content, enzyme activity and the integral index of biological state (IIBS) of soils were decreasing with the increasing aridity in the following sequence: chernozem → chestnut soils → light chestnut soils → brown desert-steppe soil. IIBS value variation range for surficial units was 41 %. The difference between the soils increased when biological activity of the whole soil profile was taken into account. In this case the difference in IIBS between the soils increased to 75 %.

**Key words:** arid soils, biological properties of soils, biodiagnostics, climate, spatial differentiation.