

Геопространственное моделирование сообществ  
дождевых червей в лесных экосистемах  
Северо-Западного Кавказа  
с помощью программы MaxEnt

*Гераськина Анна Петровна,  
Шевченко Н.Е., Плотникова А.С.,  
Нарыкова А.Н.*

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 23-24-00543  
“Геопространственное моделирование сообществ дождевых червей  
Северо-Западного Кавказа методами машинного обучения”

# Актуальность

- ✓ Горные леса – рефугиумы биоразнообразия. Горные леса Кавказа, кроме того, один из центров видообразования дождевых червей.
- ✓ Сохранение аборигенного разнообразия регулируется международной Конвенцией по биоразнообразию. Безвозвратное исчезновение аборигенных видов современная проблема, которая во многом связана утратой местообитаний.
- **Космополитные виды дождевые успешно расселяются в наземных экосистемах, и в регионах, где прогнозируется повышение температуры и влажности, ожидается увеличение численности и биомассы дождевых червей, что, как утверждает ряд исследователей, может привести к усилению почвенного дыхания и эмиссиям парниковых газов из почвы.**
- **Противоположная точка зрения: дождевые черви могут играть ключевую роль в адаптации наземных экосистем к изменениям климата за счет аккумуляции углерода в почвах в процессе почвообразования.**



# Максент моделирование

- Maxent – программа, предназначенная для моделирования распространения биологических видов **с использованием метода максимальной энтропии.**
- Кроме анализа распространения видов метод также применяется для моделирования растительных сообществ, определения горячих точек биоразнообразия, нахождения мест, подходящих для реинтродукции исчезающих видов, а также для определения чувствительности видов к изменению климата.
- Идея метода состоит в том, чтобы найти возможное распространение максимальной энтропии (наибольшего распределения) на основе доступной информации по известным местонахождениям вида и экологических условий на всей территории исследования.
- Модели Maxent представляют собой возможное распределение в виде пикселей на территории исследования без учета того, что пиксели, где вид не обитает не интерпретируются как отсутствие вида в данном местообитании (т.е. не используется «псевдоотсутствие» вида) (Санданов, 2023).

**Цель** данного исследования — оценка современного распространения доминирующих в лесных экосистемах видов дождевых червей на основе натуральных данных и GIS-моделирования.

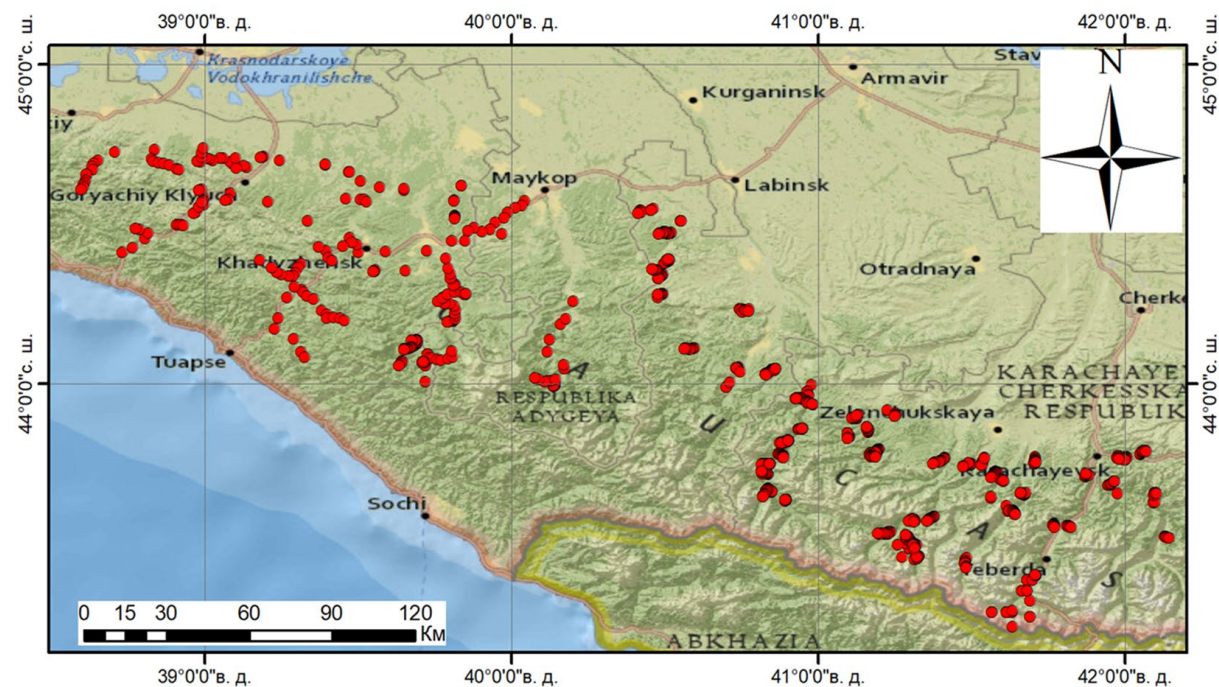


## Число точек, учтенных в моделировании (2014-2019 гг)

Ареал	Вид	Число точек
Ср	<i>Aporrectodea jassensis</i>	349
Ср	<i>Dendrobaena attemsi</i>	149
К-К	<i>Dendrobaena nassonovi nassonovi</i>	185
П	<i>Dendrobaena octaedra</i>	370
К-К	<i>Dendrobaena shmidti</i>	681
К-К	<i>Dendrobaena shmidti endogic</i>	575
К-К	<i>Dendrobaena shmidti epi-endogic</i>	105
В-А	<i>Dendrobaena tellermanica</i>	59
Ср	<i>Dendrobaena veneta</i>	13*
П	<i>Eisenia fetida</i>	92
П	<i>Lumbricus rubellus</i>	52
П	<i>Octolasion lacteum</i>	40

Ср – Средиземноморский,  
 К-К – Крымско-Кавказский,  
 П – Перегринный (космополит),  
 В-А – Восточно-азиатский.

\* - моделирование не проводилось



## Разбор почвенных проб

## Методы

Количественные учеты дождевых червей проведены путем раскопки и ручного разбора почвенных проб (25x25x до 30 см) и валежа.



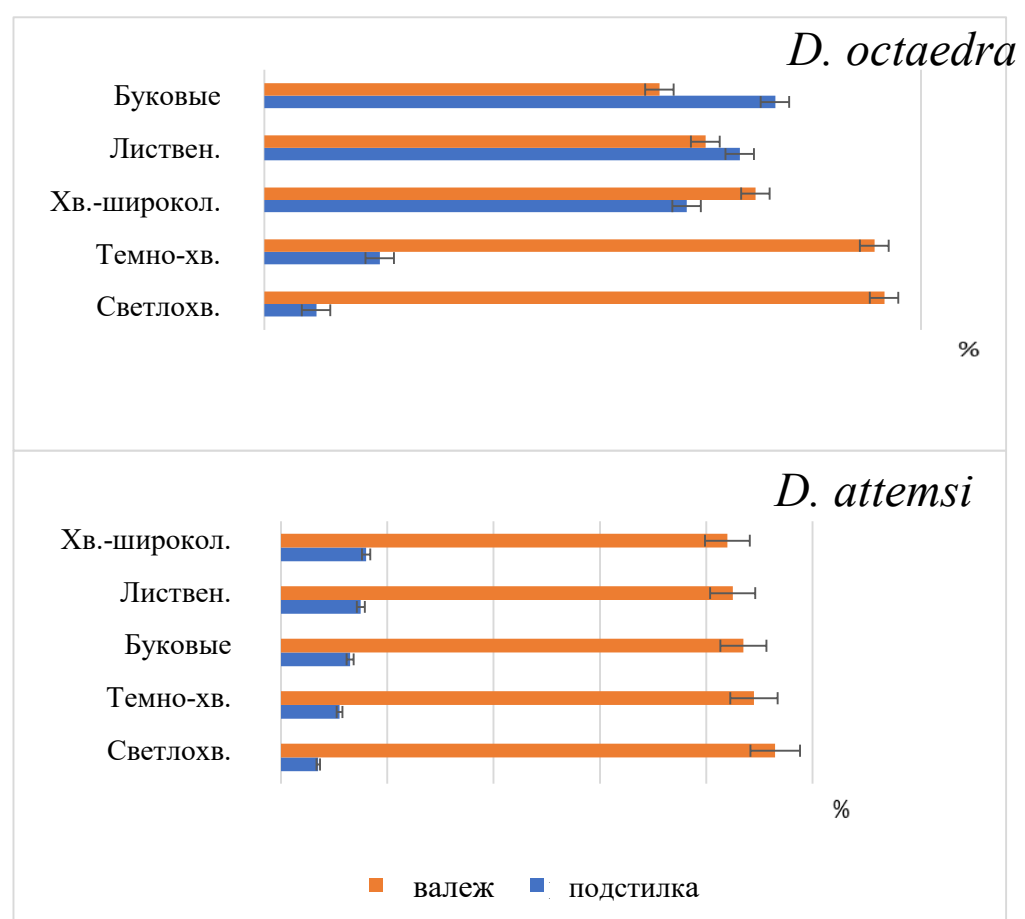
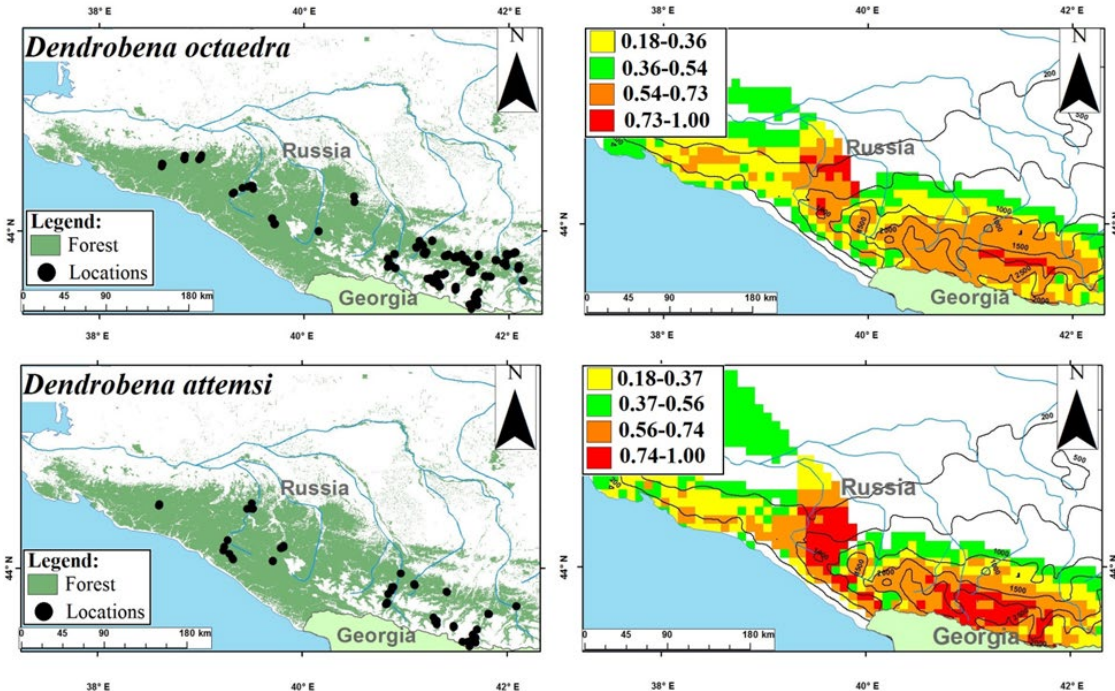
## Разбор валежа

$$V = \pi r^2 h, \text{ где}$$

$r$  – радиус ствола,  $h$  – высота ствола,  
или  $S = 2 \pi r h$

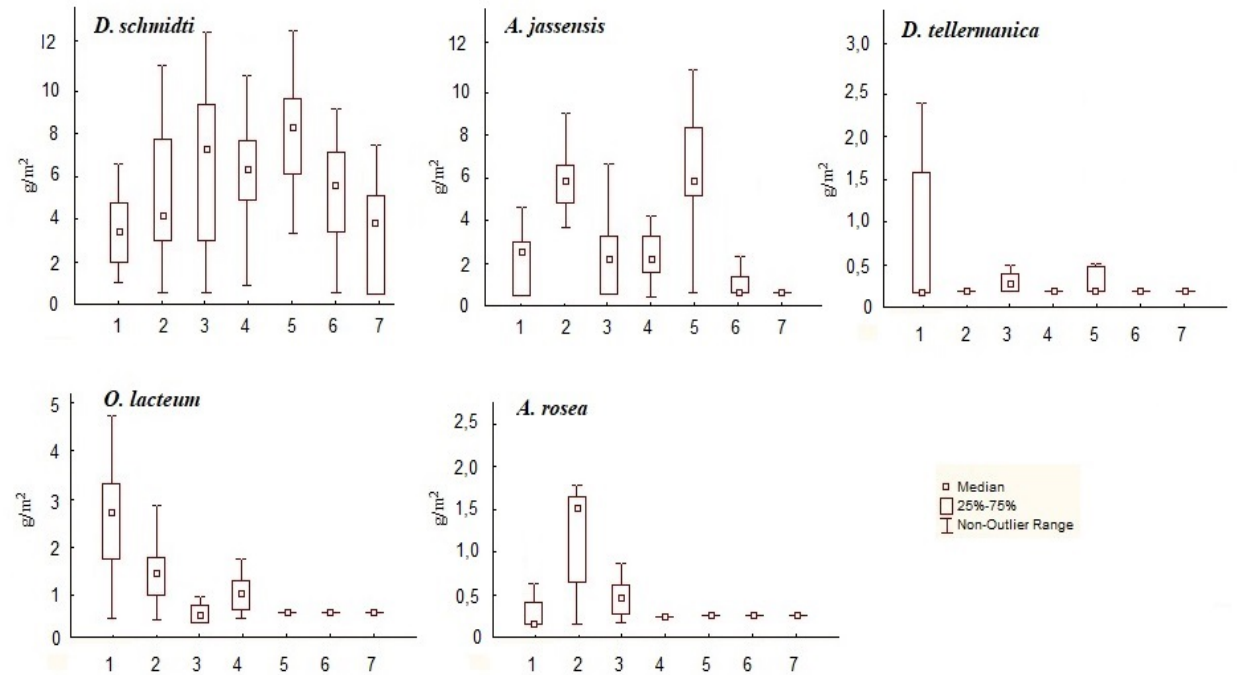
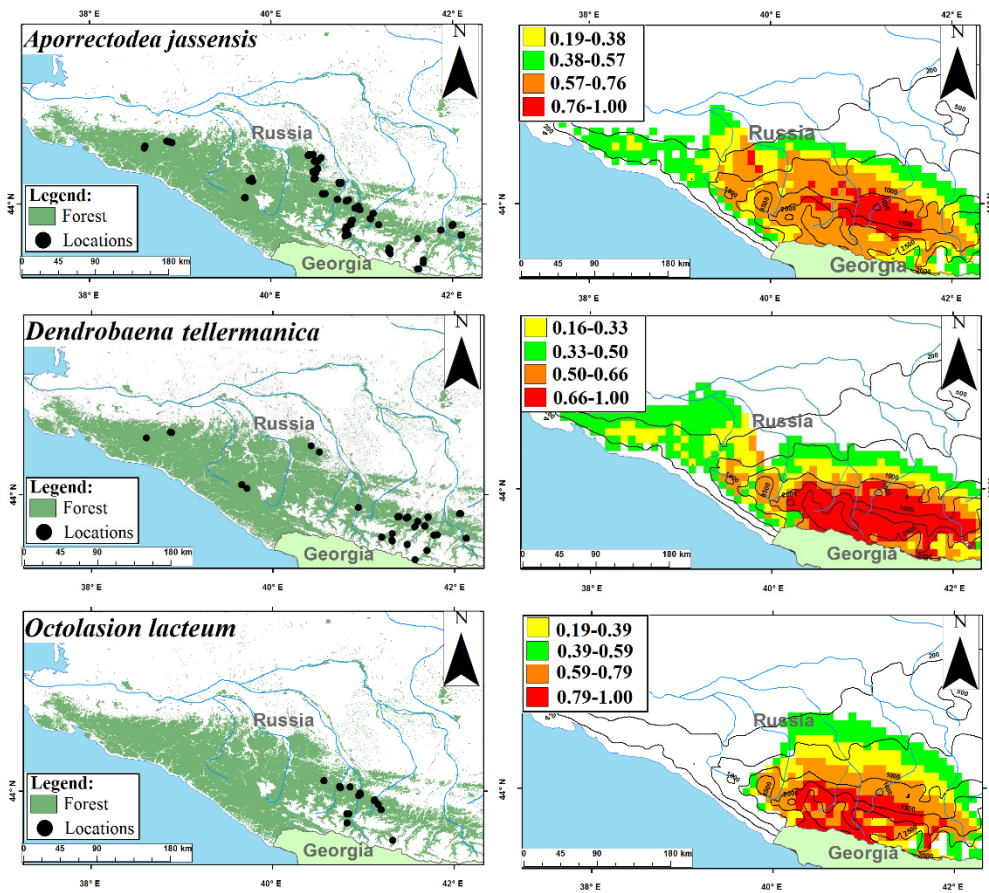


# Подстилочные виды



Результаты пространственного моделирования показывают, что современные потенциальные ареалы двух доминирующих подстилочных видов *D. octaedra* (космополит) и *D. attemsi* (средиземноморский) в целом совпадают между собой (уровень вероятности 56-74%) и охватывает большие массивы **хвойно-широколиственных** и **темнохвойных лесов** от равнинных предгорных ландшафтов до высокогорий. Два вида различаются по приуроченности к разным высотам. Для *D. attemsi* показана высокая вероятность обитания (более 74 %) в высокогорных районах центральной части Северо-Западного Кавказа в диапазоне высот 1500-2500 м над ур. моря, что соответствует современному ареалу темнохвойных лесов (верховья рек Теберда, Аксаут, Большой Зеленчук, Уруп и Большая Лаба). Также показана высокая вероятностью обитания *D. attemsi* в предгорных районах в долине реки Большая Лаба на уровне высот 200-500 м над ур. моря, где также сохранились большие массивы хвойно-широколиственных и темнохвойных лесов. Для *D. octaedra* показан наиболее вероятный потенциальный ареал на большей части горной территории Северо-Западного Кавказа.

# Собственно почвенные виды



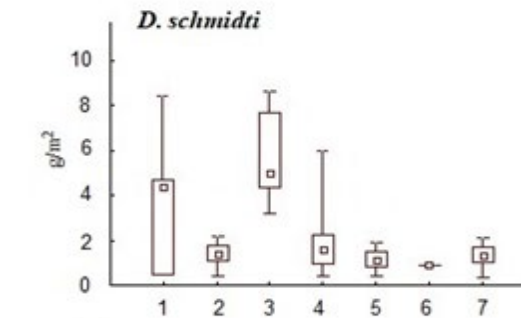
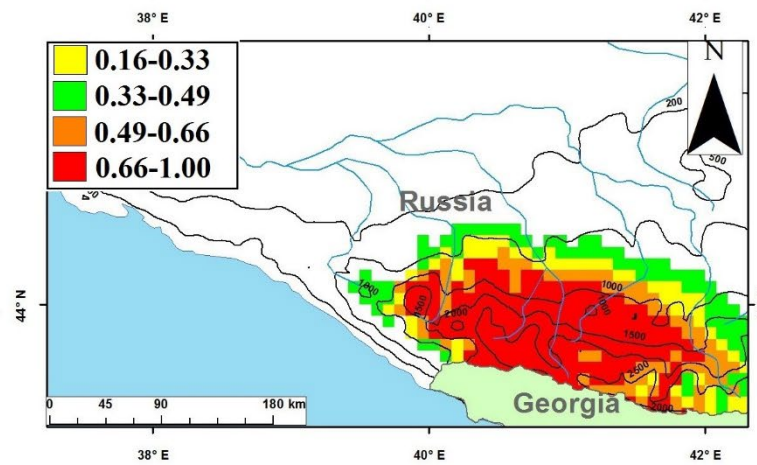
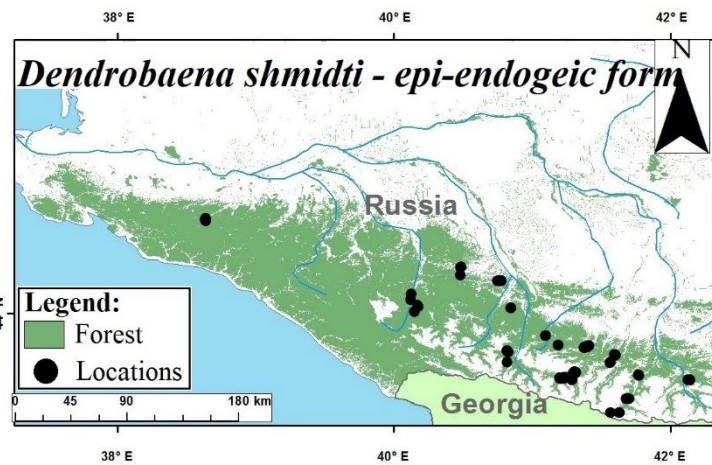
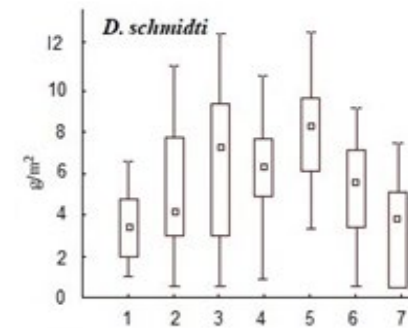
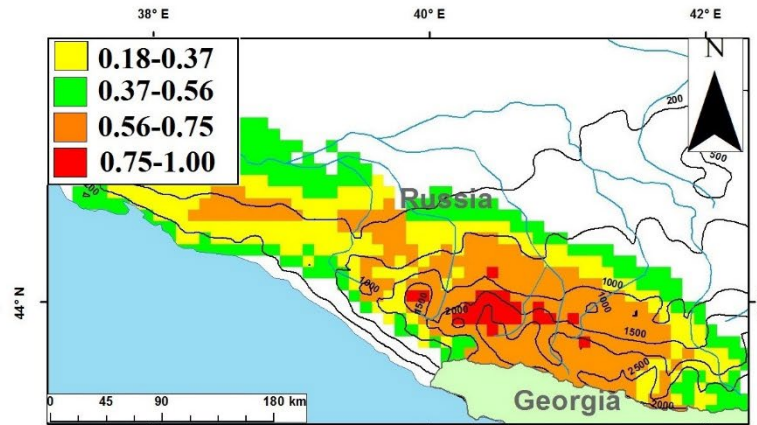
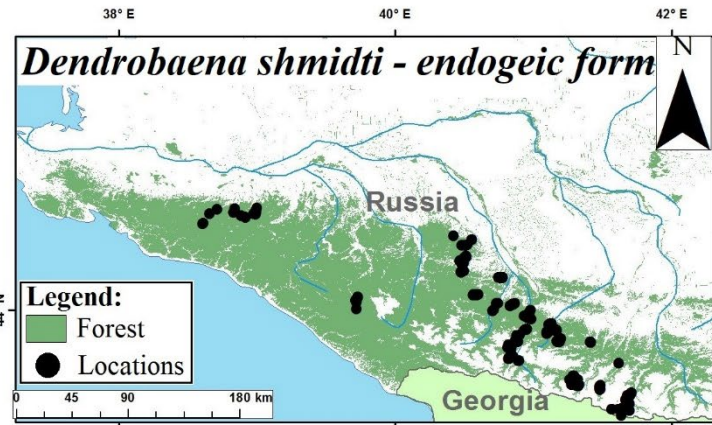
Виды группы собственно почвенных дождевых червей имеют более широкие потенциальные ареалы и включают не только территории горно-лесного пояса, но и предгорные и равнинные районы.

**Биомасса собственно почвенных дождевых червей в разных типах леса.**

1 – Черноольшаники; 2 – мелколиственные леса; 3 – грабовые леса; 4 – буковые леса; 5 – хвойно-широколиственные леса; 6 – темнохвойные леса; 7 – светлохвойные (сосновые леса).



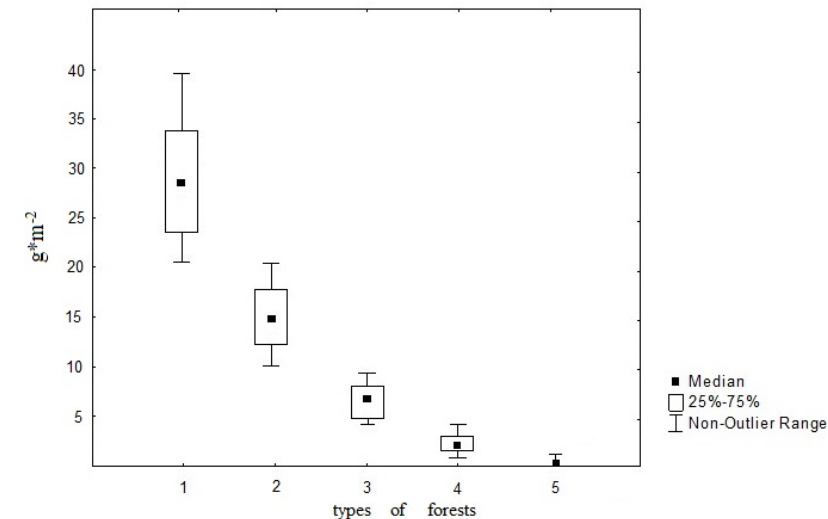
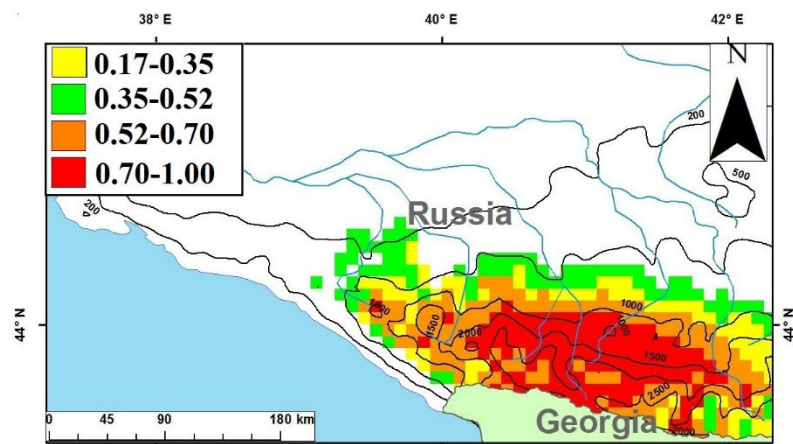
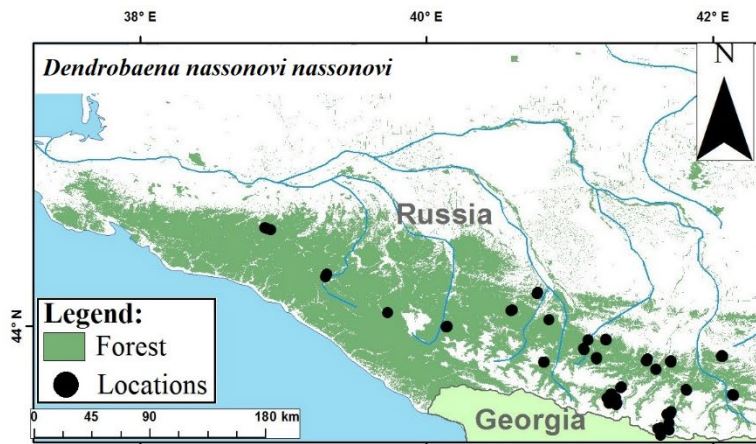
# Полиморфный вид *D. shmidti*



1 – Черноольшаники; 2 – мелколиственные леса; 3 – грабовые леса; 4 – буковые леса; 5 – хвойно-широколиственные леса; 6 – темнохвойные леса; 7 – светлохвойные (сосновые леса).

Собственно почвенная форма в сравнении с почвенно-подстилочной характеризуется значительно более широким потенциальным ареалом, который включает помимо среднегорных и высокогорных лесов (уровень вероятности >75%) также низкогорные и равнинные предгорные территории (уровень вероятности 37-75%). Потенциальный ареал почвенно-подстилочной формы охватывает главным образом среднегорные и высокогорные леса (уровень вероятности >49%)

# Норный вид *D. n. nassonovi*



Построенные карты потенциального ареала *D. n. nassonovi* демонстрируют высокую вероятность обитания вида в средне- и высокогорных лесах Северо-Западного Кавказа и высокую приуроченность к смешанным хвойно-широколиственным лесам.

1. Хвойно-широколиственные леса (мелкотравные, высокотравные, мертвопокровные);
2. Грабово-буковые леса (овсяницевые, щитовниковые, мелкотравные, высокотравные);
3. Мелколиственные леса (мелкотравные, разнотравные);
4. Черноольшанники (крупнопапоротниковые и высокотравные);
5. Хвойные леса (темно- и светлохвойные) мертвопокровные, мелкотравные, зеленомошные.



## Процентный вклад биоклиматических показателей в потенциальный ареал видов дождевых червей

Вид	alt	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	b11	b12	b13	b14	b15	b16	b17	b18	b19
<i>Aporrectodea jassensis</i>	12.7	0.1	4.6	13.5	9.4	0	2.2	5.3	0.4	3.2	0	3.7	3.3	0.2	36.7	0.1	0	0.3	3.2	1
<i>Aporrectodea rosea</i>	23.4	0	5.6	11.2	10.8	0	11.3	0.7	0.3	14.1	0	0	0	1.2	0	15.5	0.1	0.2	2.5	3.1
<i>Dendrobaena attemsi</i>	10.1	0	0.8	11.7	9.7	3.3	0.8	5.1	8.8	2.2	0.8	1.2	9.1	0.1	34.4	0	0	0	1	0.7
<i>Dendrobaena nassonovi nassonovi</i>	20.5	0	2.9	11.5	10.5	0	2.1	1.8	1.2	0.1	0	4.9	0.9	0	33.2	0.1	0	0	8.7	1.5
<i>Dendrobaena octaedra</i>	17.7	0	0.3	7.6	12.1	5	1.4	6.7	2.4	0	0	0.6	6.8	0	36.3	0	0	0	2.4	0.8
<i>Dendrobaena shmidti</i>	11.9	1.3	2.9	13	9.7	0.2	1.5	9.8	1.3	0	0	1.4	5.2	0.5	38.6	0.2	0	0.1	1.6	0.7
<i>Dendrobaena shmidti endogic</i>	10.5	1.4	3.1	11.1	8.3	0.6	0.6	11.3	1.8	0.1	0	2.7	6.8	1	38.5	0.4	0.1	0.2	0.2	1.2
<i>Dendrobaena shmidti epi-endogic</i>	19.9	0	3.6	10.9	9.8	0	1.2	1.4	0	2.4	0	5.4	0.8	0	35.8	0.2	0.3	0	6.7	1.5
<i>Dendrobaena tellermanica</i>	19.4	0.2	3.7	7.1	7.5	0	0.9	2.1	1.8	0	0	11.9	1.1	0	35.1	0	0	0.2	6.8	2
<i>Dendrobaena veneta</i>	14.6	0	3.7	7.4	0.3	0	13.5	8.5	0	12.2	0	0	0	0	0.1	25.8	0	0	5.4	8.5
<i>Eisenia fetida</i>	2.5	0	0	11.4	0	1.2	8.5	7.6	0	0	0	0	0.3	0	0	67.6	0	0	0.9	0
<i>Lumbricus rubellus</i>	16.1	0	5	8.1	5	0	8.8	6.7	2.4	10.4	0	0	0	0.1	0.1	27	0	0	5	5.3
<i>Octolasion lacteum</i>	5.3	0	4.1	2.1	0.3	0	1.6	3.7	0	35.4	0	21	0	1.2	5.2	12.8	0	0	6	1.1

**Примечание:** **b1** – средняя годовая температура; **b2** – среднесуточная амплитуда температур за каждый месяц; **b3** – изотермичность  $(b1/b2)*100$ ; **b4** – стандартное отклонение температур; **b5** – максимальная температура самого теплого месяца; **b6** – минимальная температура самого холодного месяца года; **b7** – годовая амплитуда температуры  $(b5-b6)$ ; **b8** – средняя температура самой влажной четверти года; **b9** – средняя температура самой сухой четверти года; **b10** – средняя температура самой теплой четверти года; **b11** – средняя температура самой холодной четверти года; **b12** – годовая сумма осадков; **b13** – сумма осадков в самом влажном месяце года; **b14** – сумма осадков в самом сухом месяце года; **b15** – коэффициент вариации осадков; **b16** – сумма осадков во влажной четверти года; **b17** – сумма осадков в сухой четверти года; **b18** – сумма осадков в самой теплой четверти года; **b19** – сумма осадков в самой холодной четверти года) и данных по высотам (**alt**).

# Заключение

1. Результаты пространственного моделирования показывают, что:

- подстилочные виды дождевых червей в высокой степени приурочены к темнохвойным и хвойно-широколиственным лесам.
- почвенно-подстилочные виды и норный вид – эндемик Кавказа *D. n. nassonovi* демонстрируют высокую вероятность обитания вида в средне- и высокогорных лесах Северо-Западного Кавказа и высокую приуроченность к смешанным хвойно-широколиственным лесам и широколиственным лесам.
- большинство собственно почвенных видов дождевых червей имеет более широкие потенциальные ареалы, чем почвенно-подстилочные и подстилочные виды, и их ареалы включают не только территории горнолесного пояса, но и предгорные и равнинные районы.

2. Наибольший вклад в моделирование потенциальных ареалов для большинства видов дождевых червей вносит показатель: сумма осадков в самом сухом месяце года.

3. Второй по значимости показатель в распределении дождевых червей – высота над уровнем моря. Этот параметр более значим для представителей подстилочной, почвенно-подстилочной и норной групп, чем собственно почвенной. Поскольку высота над уровнем моря определяет количество осадков, поэтому группы червей, приуроченные к подстилке (быстро пересыхающему почвенному горизонту), оказываются более зависимы от этого показателя чем, обитающие в минеральных горизонтах собственно почвенные виды.

4. Благоприятные почвенно-климатические условия, а также отсутствие масштабной хозяйственной деятельности в средне- и высокогорных лесах Кавказа, позволяет этим экосистемам оставаться уникальными пригодными рефугиумами в том числе для эндемичных видов дождевых червей Кавказа.

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**

