

Перед вылетом из гнезда, начиная с 12 дня, масса птенца начинает варьировать, то уменьшается, то незначительно увеличивается, что объясняется физиологической адаптацией большинства дуплогнездников к предстоящему покиданию гнезда [8, с. 5-36].

Таким образом, максимальный показатель прироста массы приходится на первую неделю жизни птенцов. К окончанию гнездового периода прирост массы тела у птенцов замедляется, в некоторых случаях приобретает отрицательные значения и в большинстве случаев, становится практически равным массе взрослых особей.

В заключении можно сделать вывод о том, что содержание и выкармливание птенца большой синицы в неволе возможно. Главное, соблюдать режим кормления, приручение не требует особых навыков или специальных предметов приручения. В домашнем содержании птица не прихотлива, не боится человека, что в свою очередь, может представлять определённую опасность в дальнейшей жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елаев, Э. Н. Экология симпатрических популяций синиц (на примере бассейна озера Байкал) / Э.Н. Елаев // Улан-Удэ: Издательство Бурятского университета, 1997. – 159 с.
2. Глызина, А. Ю. К постэмбриональному развитию гнездовых птенцов московки (Parus ater, L., 1758) / А.Ю. Глызина, Ф.С. Сафонов, А.С. Зырянов, В.О. Соловаров. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса», посвященная памяти А. А. Ежевского. Иркутск: Издательство: Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, 2018. – С. 313-321.
3. Лукина, Е. В. Развитие птенцов воробьиных птиц и формирование их поведения / Е.В. Лукина // Русский орнитологический журнал 2003, Экспресс-выпуск 219. – С. 412-423.
4. Мальчевский, А. С. Гнездовая жизнь птиц: Размножение и постэмбриональное развитие лесных воробьиных птиц европейской части СССР / А.С. Мальчевский. – Л., 1959. – 281 с.
5. Серпокрыл, Н. С. Некоторые наблюдения за вылуплением ряда видов воробьиных птиц / Н.С. Серпокрыл // Биология питания, развития и поведения птиц. – Л., 1976. – С. 85-93.
6. Смирнов, О. П. О поведении птенцов большой синицы / О.П. Смирнов // Русский орнитоло-гический журнал, Том 16. Экспресс-выпуск №375, 2007. – С.1170-1173.
7. Смирнов, О. П. Неожиданные питомцы / О.П. Смирнов. – СПб.: «Лион», 2008. – 112 с.
8. Познанин, Л. П. Экологоморфологический анализ онтогенеза птенцовых птиц / Л.П. Познанин // Общий рост и развитие пропорций тела в постэмбриогенезе. – М.: Наука, 1979. – 294 с.

РЕПРОДУКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПАРТЕНОГЕНЕТИЧЕСКОГО МРАМОРНОГО РАКА *PROCAMBARUS VIRGINALIS* (DECAPODA, CAMBARIDAE) – НОВОГО ИНВАЗИВНОГО ВИДА В ВОДОЕМАХ ЕВРАЗИИ И АФРИКИ

REPRODUCTIVE POTENTIAL OF THE PARTENOGENETIC MARBLE CRAYFISH *PROCAMBARUS VIRGINALIS* (DECAPODA, CAMBARIDAE) NEW INVASIVE SPECIES IN THE RESERVOIRS OF EURASIA AND AFRICA

А. П. Голубев, К. В. Климова, О. А. Бодиловская
A. Golubev, K. Klimova, O. Bodilovskaya

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
algiv@rambler.ru

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В долговременном (2016 г. – февраль 2020 г.) лабораторном эксперименте определены ключевые параметры размножения *Procambarus virginialis*, определяющие скорость роста его природных популяций. Температура в период эксперимента изменялась от 14°C до 30°C летом. Самки начинают производить кладки яиц уже в возрасте 12 – 15 месяцев, когда длина их тела достигает 38 – 40 мм, а масса 1,5 – 2,5 г. Однако жизнеспособные кладки, из которых впоследствии отрождались личинки, самки производили в возрасте свыше 1,5 – 2 лет, когда длина их составляла 50 – 90 мм. В целом, доля жизнеспособных кладок не превышала 27% от их общего числа. При температурах 17 – 18°C период развития яиц длится 70 суток, а при 24 – 25°C – он сокращается до 21 – 22 суток. Число личинок в отдельных кладках возрастало с увеличением размеров самок от 35 до 231. Делается вывод, что репродуктивный потенциал *P.virginialis* недостаточно высок для создания устойчивых инвазивных популяций в водоемах умеренной зоны.

In a long-term (2016 - February 2020) laboratory experiment, the key breeding parameters of *Procambarus virginicus*, which determine the growth rate of its natural populations, were determined. In the course of the experiment temperature varied from 14 °C to 30 °C in the summer. Females begin to lay eggs at the age of 12 – 15 months, when their body length reaches 38 – 40 mm, and their weight is 1,5 – 2,5 g. However, viable clutches, from which the larvae later hatched, were produced at the age of over 1.5 - 2 years, when their length was 50 - 90 mm. In general, the share of viable clutches did not exceed 27% of their total number. At temperatures of 17 – 18 °C, the egg development period lasts 70 days, and at 24 – 25 °C it decreases to 21 – 22 days. The number of larvae in individual clutches increased with an increase in the size of females from 35 to 231. It is concluded that the reproductive potential of *P.virginicus* is not high enough to create stable invasive populations in water reservoirs of the temperate zone.

Ключевые слова: мраморный рак *Procambarus virginicus*, partenogenesis, рост, размножение, биологические инвазии.

Keywords: marble crayfish *Procambarus virginicus*, parthenogenesis, growth, reproduction, biological invasions.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-240-244>

Мраморный рак *Procambarus virginicus* является единственным известным партеногенетическим видом в инфраотряде Astacoidea отряда десятиногих раков. Он представлен исключительно триплоидными самками, размножающимися посредством партеногенеза. Особи данного вида были впервые обнаружены в 1990-х гг. в любительских аквариумах. По данным молекулярно-генетических исследований, *P. virginicus* произошел от содержащихся в аквариумах особей двуполого *Procambarus fallax* (Hagen, 1980) в результате геномной мутации [1], что является ярким примером квантового видеообразования. Природный ареал *P. fallax* весьма невелик, он охватывает лишь бассейн небольшой реки Сатилла в штатах Джорджия и Флорида (США). Напротив, *P. virginicus* в настоящее время является очень популярным аквариумным видом во всем мире. В последние десятилетия этот вид из любительских аквариумов широко расселился в водоемах многих стран Европы – от Швеции и Германии до Румынии и Хорватии и от Нидерландов до Украины, а за пределами Европы – Японии и Мадагаскара [2].

Любой инвазивный вид является потенциальным фактором риска для аборигенной биоты. В частности, в водоемах Европы *P. virginicus* может представлять реальную угрозу для аборигенных популяций промыслового длиннопалого рака *Astacus leptodactylus* и охраняемого широкопалого рака *A. astacus*, поскольку *P. virginicus* может конкурировать с этими видами за пищевые и пространственные ресурсы. В последние годы *P. virginicus* обнаружен в Украине (водоемы г. Одессы и р. Днепр) [3], поэтому нельзя исключать его проникновения и в Беларусь.

Объективная оценка инвазивного потенциала любого вида и создаваемых им угроз для аборигенных видов возможна лишь на основе надежных данных по его биологии и экологии, в первую очередь – количественным аспектам размножения. Для *P. virginicus* такие данные имеют фрагментарный характер, что и вызвало необходимость специальных исследований.

Исследования проведены в лабораторных условиях в период с января 2016 г. по февраль 2020 г. с особями из лабораторной культуры мраморного рака, содержащейся в МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ. Культура была получена в июле 2015 г. от единственной половозрелой особи. Эксперименты проводились при комнатной температуре, которая изменялась в пределах от 14 – 15°C (январь-февраль) до 28 – 30°C (июль-август).

Молодь в возрасте 3-4 недели рассаживали поодиночке в стеклянные сосуды объемом 0,8 – 1 л. По мере роста их пересаживали поодиночке в аквариумы с объемом воды 3 – 5 л. При достижении половой зрелости сосуды просматривались не реже двух-трех раз в неделю с целью регистрации дат вымета кладок яиц на плеоподы. Самок, выметавших кладки, не взвешивали, чтобы избежать возможного травмирования яиц.

Яйценосные самки проверялись с такой же частотой для определения дат выхода молоди из яиц или сброса abortивных или мертвых кладок. После вымета у самок, выметавших молодь или сбросивших кладку, определяли массу и размеры тела. В случае отрождения молоди, проводили подсчет молоди, у выборок молоди численностью 6 – 10 особей определяли среднюю массу и размеры тела. При сбросе самками мертвых яиц определяли их диаметр. Особей в эксперименте кормили живыми личинками мотыля *Chironomus spp.*, корм давали с избытком. Воду в сосудах с животными меняли не реже одного раза в неделю.

Статистическая обработка данных проведена общепринятым способом в пакете прикладных программ Statistica 8.0. Достоверность различий по средним значениям между отдельными выборками определяли непараметрическим методом Манна – Уитни.

На протяжении всего эксперимента нами были приняты все меры по предотвращению случайного или преднамеренного заноса особей этого вида в природные водоемы и их передачи аквариумистам-любителям.

По нашим данным максимальная продолжительность жизни *P. virginicus* в лабораторной культуре не превышает 2 – 2,5 года. За весь жизненный цикл отдельные самки были способны произвести три-четыре кладки яиц, но обычно их число не превышало одной – двух. Сроки вымета самками кладок в эксперименте имеют четко выраженную сезонность (рис. 1). Более 60% кладок было выметано в период с конца августа по ноябрь. Второй, значительно более низкий пик (23%) наблюдался в апреле-июне. В остальные месяцы года отмечены лишь единичные случаи вымета кладок.

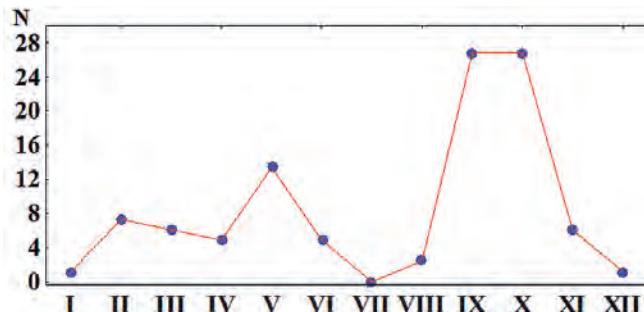


Рисунок 1 – Количество кладок яиц (N, %), выметанных в разные месяцы года (I – XII) в период 2016–2020 гг.

За период 2016–2020 гг. все самки в эксперименте произвели 82 кладки. При этом молодь отродилась лишь из 22-х кладок, что составляет приблизительно 27% от их общего количества. Во многих случаях жизнеспособные кладки можно достаточно легко отличить от abortивных (мертвых) уже в первые сутки после выметы. Яйца в жизнеспособных кладках имеют черную окраску, они прочно держатся на плеоподах весь период эмбрионального развития. Abortивные яйца имеют темно-коричневую окраску, они гораздо хуже прикреплены к плеоподам, потому самки начинают их терять уже вскоре после выметы.

Минимальный возраст самок при вымете ими первых кладок составлял 10–12 месяцев. Как правило, первые кладки у молодых и самых мелких по размерам особей являлись abortивными, также, как и многие кладки у самых крупных особей в конце их жизненного цикла. В первом случае это можно объяснить незаконченным формированием репродуктивной системы у молодых особей, а во втором – старческими изменениями в организме. Поэтому в большинстве случаев молодь отрождалась из вторых-третьих кладок, производимых особями в возрасте 1,5 – 2 лет. Размерно-весовые характеристики самок при вымете ими жизнеспособных и abortивных кладок представлены в таблице.

Средняя масса тела самок при отрождении ими жизнеспособных кладок была приблизительно в 1,3 раза выше, чем самок, производивших abortивные кладки. Однако, эти различия вследствие высокой вариабельности по этому параметру (коэффициент вариабельности CV – выше 55%) оказались статистически незначимыми ($p>0,10$). Аналогичные закономерности установлены и для вариабельности по размерам тела самок.

Таблица – Вариабельность по массе (W) и размерам (L) тела у размножающихся самок *Procambarus virginicus* при вымете ими жизнеспособных и abortивных кладок

Число кладок	$W_{\min}, - W_{\max},$ г	$W_{\text{avr}} \pm \sigma W^{***},$ г	C.V. для W, %	$L_{\min} - L_{\max},$ мм	$L_{\text{avr}} \pm \sigma L,$ мм	C.V. для L, %
22*	2,23 – 20,52	$6,91 \pm 4,04$	58,5	36 - 90	$62,0 \pm 11,9$	19,1
60**	1,20 – 16,59	$5,16 \pm 3,77$	73,1	37 - 90	$56,2 \pm 12,6$	22,4

* – жизнеспособные кладки; ** – abortивные кладки; *** σ – стандартное отклонение

Плодовитость самок (число личинок, от рожденных из отдельных кладок) *P. virginicus* изменяется в очень широких пределах – от 35 до 231 особи (рис. 2). Однако, несмотря на значительный разброс эмпирических данных, отмечена четкая тенденция к увеличению плодовитости (N, число от рожденных личинок) с возрастанием массы тела материнских особей (W, г), которая следует уравнению:

$$N = 14,76 W + 7,90.$$

Коэффициент корреляции (r) между N и W в уравнении (1) равен 0,6593.

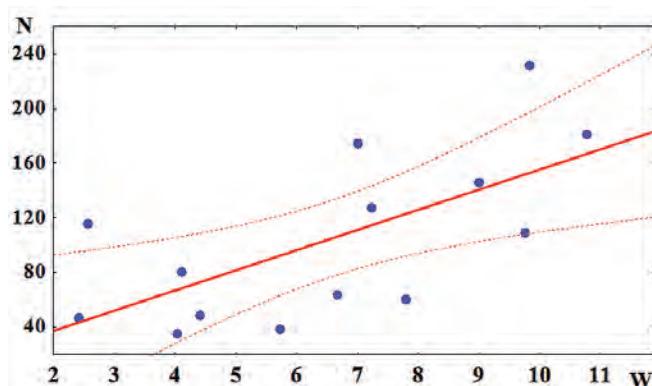


Рисунок 2 – Зависимость между плодовитостью (N, число от рожденных личинок) и массой тела материнских особей (W, г) *Procambarus virginicus*.

Прямая – линия регрессии уравнения (1), пунктир – 95%-ный доверительный интервал

Средняя масса новорожденных личинок, от рожденных из разных кладок, изменялась в пределах от 5 до 7 мг, а длина их тела – в пределах 5 – 7 мм. Средний диаметр яиц для отдельных кладок изменялся в пределах 1,55 – 1,65 мм. Для всех этих показателей не установлено статистически значимой зависимости от плодовитости самок и размеров их тела.

Длительность эмбрионального развития яиц (промежуток времени от вымета яиц на плеоподы и до момента, когда личинки покидают самку и начинают самостоятельно питаться) в значительной степени зависит от средней температуры в период инкубации яиц. При температурах в пределах 17 – 18°C период инкубации длится 67 – 69 суток, а при 26 – 27°C – он сокращается до 21 суток. Вероятно, температура 27°C является очень близкой к верхнему температурному пределу для эмбрионального развития у мраморного рака, поскольку личинки, от рожденные из кладок, развивавшихся при этой температуре, отличались низкой жизнестойкостью. Во всяком случае, все немногие кладки яиц, которые вынашивали самки в период времени от конца июня до начала августа, когда температура достигала 27 – 30°C, оказались abortивными. Для особей в возрасте свыше двух месяцев такие температуры не выходят за пределы толерантных.

Среди многочисленных видов (почти 800) десятиногих раков, составляющих инфраотряд *Astacioidea*, мраморный рак *P.virginialis* выделяется своей уникальной способностью к размножению посредством партеногенеза. Это резко повышает инвазивный потенциал данного вида, поскольку теоретически новую инвазивную популяцию может основать единственная половозрелая особь, давшая хотя бы одну жизнеспособную кладку. Напротив, у двуполых видов речных раков для образования инвазивных популяций необходимы достаточно большие группы половозрелых особей обоих полов, чтобы повысить вероятность контактов разнополых малоподвижных особей в период спаривания.

С другой стороны, ряд особенностей размножения мраморного рака способствуют снижению его репродуктивного потенциала. В первую очередь, это малое количество жизнеспособных кладок, доля которых в настоящем эксперименте не превышала 27%. Полученные нами результаты вполне согласуются с имеющимися литературными данными. Так, в лабораторных экспериментах [4] 38,5% половозрелых самок *P.virginialis* на жизненный цикл не произвели ни одной кладки, 23% самок произвели только одну кладку, а остальные самки произвели более одной кладки. Абсолютное их большинство производили по две-три кладки, хотя у единичных особей их число достигало 6 – 7. В целом, пониженная способность самок мраморного рака к партеногенетическому размножению и низкая доля жизнеспособных кладок у них являются серьезными лимитирующими факторами для роста численности инвазивных популяций данного вида и их закреплению в новых водоемах.

Пониженный репродуктивный потенциал у *P.virginialis* может объясняться многими причинами. Нам представляется, что одной из них является очень короткий срок существования этого вида, вероятно, не более нескольких десятилетий. Процессы размножения и развития яиц у всех видов регулируются генетическими комплексами, включающими множество генов. В таком случае за столь короткий срок у мраморного рака еще не успел сформироваться оптимальный генотип, обеспечивающий высокую эффективность партеногенетического размножения, такую как у ракообразных с облигатным партеногенезом, напр., у ветвистоусых раков и ряда видов артемий.

Агамные инвазивные популяции *P.virginialis* представлены совокупностью клонов – потомков отдельных размножающихся самок. Поэтому успех их закрепления в новых местах обитания будет в значительной степени определяться долей в отдельных клонах особей с высоким репродуктивным потенциалом. Если инвазивная популяция существует достаточно длительный срок, отхватывающий несколько поколений, в ней будут происходить процессы естественного отбора, в котором несомненные селективные преимущества будут получать клонсы с повышенными долями размножающихся самок и жизнеспособных кладок. Численность этих клонов будет расти быстрее, чем клонов с более низким репродуктивным потенциалом. В конечном итоге они составят большинство популяции, которая выйдет на новый повышенный уровень устойчивости.

Другим важным фактором лимитирования роста популяций мраморного рака является достаточно продолжительный предрепродуктивный период. Хотя первые кладки у этого вида появляются уже в возрасте 9 – 12 месяцев, они в абсолютном большинстве случаев являются abortивными. Жизнеспособные кладки производят самки более старших возрастов, в большинстве случаев – менее 1,5 – 2 лет. В водоемах умеренной зоны Европы процессы роста и развития аборигенных видов речных раков происходят в сравнительно короткий период года, когда температура воды превышает 10 – 12°C. Его длительность обычно не превышает 5 месяцев – от конца апреля до середины октября. В таких условиях новорожденные особи *P.virginialis* начнут размножаться не ранее 3-го лета своей жизни, подобно аборигенному в Европе длиннопалому раку.

Также остаются неизвестными и нижние температуры выживания *P.virginialis* в водоемах Европы. Известно только, что в водоемах естественного ареала его материнского вида *P.fallax* зимние температуры существенно выше, чем в водоемах умеренной зоны Европы. Поэтому *P.virginialis* имеет значительно большую вероятность закрепления в теплых водоемах субтропических и тропических зон. Например, заселившийся на Мадагаскаре *P.virginialis* за короткий срок не только распространился по всему этому огромному острову, но и стал там промысловым видом [5]. С другой стороны вселение *P.virginialis* является серьезной угрозой для уникальной эндемичной биоты водоемов Мадагаскара.

Формирование устойчивых инвазивных популяций *P.virginialis* с высокой численностью в умеренной зоне Европы представляется менее вероятным. Тем не менее, эту опасность нельзя недооценивать, учитывая устойчивый тренд повышения температуры, обусловленный глобальным потеплением. Наиболее благоприятные условия

для существования *P.virginialis* складываются в водоемах с высоким уровнем термального загрязнения. В Беларуси такими водоемами являются озера Белое и Лукомское – водоемы-охладители Березовский ГРЭС (Березовский р-н Брестской обл.) и Лукомльской ГРЭС (Чашникский р-н Витебской обл.). В этой связи, необходимо установить четкий контроль за распространением *P.virginialis* в сопредельных государствах, а также принять все необходимые меры по недопущению его попадания в природные водоемы Беларуси из любительских аквариумов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vogt, G. The dimension of biological change caused by autotriploidy: A meta-analysis with triploid crayfish *Procambarus virginialis* and its diploid parent *Procambarus fallax* / G. Vogt, N.J. Dorn, M. Pfeiffer, C. Lukhaup, B.W. Williams, R. Schulz, A. Schrimpf // Zoologischer Anzeiger. – 2019. № 281. – P. 53–67.
2. Chucholl, C. The clones are coming – strong increase in Marmorkrebs [*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginialis*] records from Europe/ C. Chucholl, K. Morawetz, H. Groß // Aquatic Invasions. – 2012. – Vol. 7, № 4. – P. 511–519.
3. Novitsky, R. A. The first records of Marmorkrebs [*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginialis*] (Crustacea, Decapoda, Cambaridae) in Ukraine / R.A. Novitsky, M.O. Son // Ecologia Montenegrina. – 2016. № 5. – P. 44 – 46.
4. Faulkes, Z. Establishment and care of a colony of parthenogenetic marbled crayfish, Marmorkrebs / Z. Faulkes, S.A. Jimenez // Invertebrate Rearing. – 2010. – Vol. 1, № 1. – P. 10–18.
5. Andriantsoa, R. Ecological plasticity and commercial impact of invasive marbled crayfish populations in Madagascar / R. Andriantsoa, S. Tönges, J. Pantaleit, K. Theissinger, V.C. Carneiro, J. Rasamy, F. Lyko // BMC Ecology. – 2019. – Vol. 19, № 8. – Mode of access:<https://doi.org/10.1186/s12898-019-0224-1>.

ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ г. ЖОДИНО)

PHYTOREMEDIATION OF SOIL COVER OF URBAN AREAS (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF ZHODINO)

Е. В. Журавков, Р. О. Бондарчик, Н. В. Гончарова
Y. Zhuravkov, R. Bondarchik, N. Goncharova

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
goncharova@iseu.by

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Изучены способности представителей сорных растений к накоплению тяжелых металлов (далее – ТМ) в условиях г. Жодино. В ходе исследования рассчитаны коэффициенты накопления цинка, меди, свинца и кадмия, а также их концентрация в сыром растительном материале.

The ability of representatives of weeds to accumulate heavy metals in the conditions of Zhodino was studied. The study calculated the accumulation coefficients of zinc, copper, lead, and cadmium, as well as their concentration in raw plant material.

Ключевые слова: загрязнение почв, тяжелые металлы, урбокосистема, фиторемедиация, сорные растения.

Keywords: soil pollution, heavy metals, urban ecosystem, phytoremediation, weed plants.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-244-247>

Современные почвы городских территорий подвержены интенсивным техногенным нагрузкам. Они представляют отдельную группу почв, явно отличающихся от фоновых почв. Для почв городов характерны: сдвиг реакции среды в сторону подщелачивания, пониженный окислительно-восстановительный потенциал, повышенное содержание органического вещества, общего азота, калия и фосфора, а также аккумуляция загрязняющих веществ, включая и тяжелые металлы. Почвы города содержат большое количество чужеродного субстрата, чужеродных образований, включений и артефактов. Применение противогололедных солевых средств в городах приводит к засолению почв весной, что вызывает стресс у растений, включая их гибель.

Городские почвы выполняют значимые экологические функции. Они являются мощным комплексным геохимическим барьером с большой емкостью накопления антропогенных поллютантов, хотя предел этой емкости пока не определен. К малоизученным в городских почвах относятся процессы сорбции, десорбции, трансформации и миграции веществ. Следует учесть, что эти процессы усложняются и другими антропогенными факторами, такими как привнос карбонатной пыли, применение противогололедных средств, кислотными дождями