

УДК 504.064.36:574

**И.В. Бульская, А.П. Колбас, Д.С. Дылюк**

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА В Г. БРЕСТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЯСКИ МАЛОЙ**

В статье представлены оригинальные результаты оценки поверхностного стока с территории г. Бреста в зимний (снеготаяния) и летний (выпадения дождя) периоды при помощи фитотестирования с использованием ряски малой (*Lemna minor* L.). Отмечено значительное угнетение роста растений в среде зимнего стока, что объясняется высокой концентрацией хлоридов, входящих в состав антигололедных реагентов. В то же время выявлена более высокая чувствительность функциональных параметров (активность каталазы и содержание фотосинтетических пигментов). Обсуждается протекторная роль некоторых фотосинтетических пигментов. Подтверждена возможность использования данного метода при мониторинге водных объектов в условиях Бреста.

### **Введение**

Территория современных городов существенно отличается от окружающей их природной среды. Наличие большого количества источников химических загрязнений, высокого процента непроницаемых покрытий и сооружений приводит к тому, что город может оказывать существенное негативное влияние на сложившиеся естественные экосистемы. Экологический мониторинг загрязнения урбанизированных территорий занимает важное место в системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [1]. Постоянному мониторингу подлежит качество атмосферного воздуха, состояние поверхностных вод рек и водоемов, осуществляется строгий контроль за количеством выбросов химических веществ в атмосферу предприятиями и автотранспортом, за качеством отводимых в реки и водоемы промышленных и коммунальных сточных вод. Однако некоторые аспекты функционирования городских территорий остаются вне устоявшейся системы контроля за состоянием окружающей среды. Примером может служить поверхностный сток с городских территорий, попадающий затем в водные экосистемы. Подверженность таких водных объектов загрязнению является серьезным фактором ухудшения санитарно-эпидемиологической обстановки в городах. Поэтому мониторинг поверхностного стока и предотвращение загрязнения водных объектов на урбанизированных территориях, а также восстановление антропогеннонарушенных водных объектов становится одной из важнейших задач научно обоснованного обустройства городской территории [2].

Согласно нормативным документам, принятым в Республике Беларусь, поверхностный сток с городских территорий относится к категории условно чистых сточных вод, и контроль его качества осуществляется лишь по трем показателям – содержание взвешенных веществ, нефтепродуктов и pH [3]. В то же время многочисленные исследования доказывают, что загрязненность поверхностного стока является значительной, а спектр обнаруживаемых веществ весьма широк [4; 5]. Наибольшие риски представляют нитрат-, хлорид-, фосфат-ионы, а также катион аммония [5; 6]. Причем многие авторы отмечают значительное варьирование содержания данных контаминантов в зависимости от сезона года [7].

Оценка химического состава поверхностного стока может дать общее представление о степени его загрязненности, но не дает возможности оценить степень его влияния на живые организмы. Зная лишь концентрации индивидуальных химических веществ, тяжело предсказать взаимодействия этих веществ между собой в реальной природной среде, их превращения и синергетический эффект на живые организмы, а также степень влияния тех примесей, которые по каким-либо причинам не были включены в план анализа либо содер-

жатыся в концентрациях, меньших предела определения. Все более широкое распространение в последнее время получают методы биологического контроля, в частности, метод фитотестирования (биотестирование с использованием растений), который позволяет с высокой вероятностью и значительной степенью воспроизведения результатов оценить токсичность среды при наименьших затратах [8; 9]. Для получения полной картины рекомендуется использовать как структурные параметры, дающие адекватные ответы, так и функциональные параметры, характеризующиеся большей амплитудой чувствительности и ранней реакцией [10]. Удобным объектом для таких исследований является широко распространенное водное растение ряска малая (*Lemna minor* L.), успешно применяемое для определения фитотоксичности вод, содержащих металлы [11].

Целью данной работы является исследование влияния физико-химических параметров летнего и зимнего поверхностного стока (г. Брест) на структурные и функциональные показатели ряски малой.

### Материалы и методы

Для данной работы были использованы пробы поверхностного стока с территории г. Бреста, отобранные в месте выхода ливневого коллектора к реке Мухавец в зимний и летний период (далее зимний поверхностный сток – ЗПС и летний поверхностный сток – ЛПС). Все физико-химические параметры водных проб, кроме содержания нефтепродуктов, были определены в лаборатории кафедры химии Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина. Содержание в пробах нефтепродуктов было определено в ГУ «Республиканский центр аналитического контроля». Состав проб представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав поверхностного стока

| Пробы поверх.<br>стока | Содержание компонента, мг/дм <sup>3</sup> (кроме pH) |                 |                              |                              |                               |                 |                  |
|------------------------|------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|
|                        | pH                                                   | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | ВВ <sup>*</sup> | НП <sup>**</sup> |
| ЗПС                    | 7,92                                                 | 4098            | 4,50                         | 0,73                         | 4,51                          | 474             | 0,04             |
| ЛПС                    | 7,07                                                 | 30,39           | 0,53                         | 2,47                         | 1,03                          | 240             | 0,39             |
| ДКПС                   | 6,5-8,5                                              | –               | –                            | –                            | –                             | 20              | 0,3              |
| ПДКРХ                  | 6,5-8,5                                              | 300             | 40                           | 0,05                         | 0,066                         | –               | –                |

\*ВВ – взвешенные вещества

\*\*НП – нефтепродукты

В качестве тест-объекта была использована культура ряски малой (*Lemna minor* L.). До основного эксперимента растения выдерживались в лаборатории в модифицированном питательном растворе Огленда [12] в тех же условиях, что были использованы для опыта (фотопериод 14/10 ч, температура 22–25 °С, относительная влажность 65 %) [13]. Выбранные случайным образом растения, имеющие 2–4 хорошо сформированных листочка, были помещены в конические колбы, содержащие по 150 мл поверхностного стока (по 30 штук в каждую колбу). В качестве контроля аналогичный опыт был заложен в отстоявшейся водопроводной воде. Опыт выполнялся в 4 повторностях. Методика соответствовала стандартам, описанным ранее [11].

Для определения фитотоксичности водных растворов измерялись как морфометрические, так и биохимические параметры ряски малой. Для этого до начала эксперимента, на третьи, пятые и девятые сутки подсчитывалось общее количество листоч-

ков и число растений. Содержание фотосинтетических пигментов и активность каталазы в растениях определяли в исходной культуре и на 9 сутки эксперимента.

Экстракцию пигментов проводили в 90% этаноле. Оптическую плотность вытяжек определяли на спектрофотометре PROSCAN Special Instruments (2010) [10; 14; 15]. Точное содержание отдельных пигментов устанавливали с помощью трехволнового метода, определяя оптическую плотность (E) вытяжки при 665, 649 и 440 нм (максимумы поглощения соответственно хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов в этаноле). Концентрацию хлорофиллов а и b (C) рассчитывали по уравнениям Винтерманс и Де Мотс (Wintermans, De Mots, 1965) для этанола [16]:

$$C_a = 13,70 \cdot E_{665} - 5,76 \cdot E_{649} \text{ (мг/л);}$$

$$C_b = 25,80 \cdot E_{649} - 7,60 \cdot E_{665} \text{ (мг/л).}$$

Концентрацию каротиноидов в суммарной вытяжке пигментов вычисляли по уравнению Веттштейна (Wettstein, 1957) [17]:

$$C_k = 4,7 \cdot E_{440} - 0,27 \cdot C(a+b) \text{ (мг/л).}$$

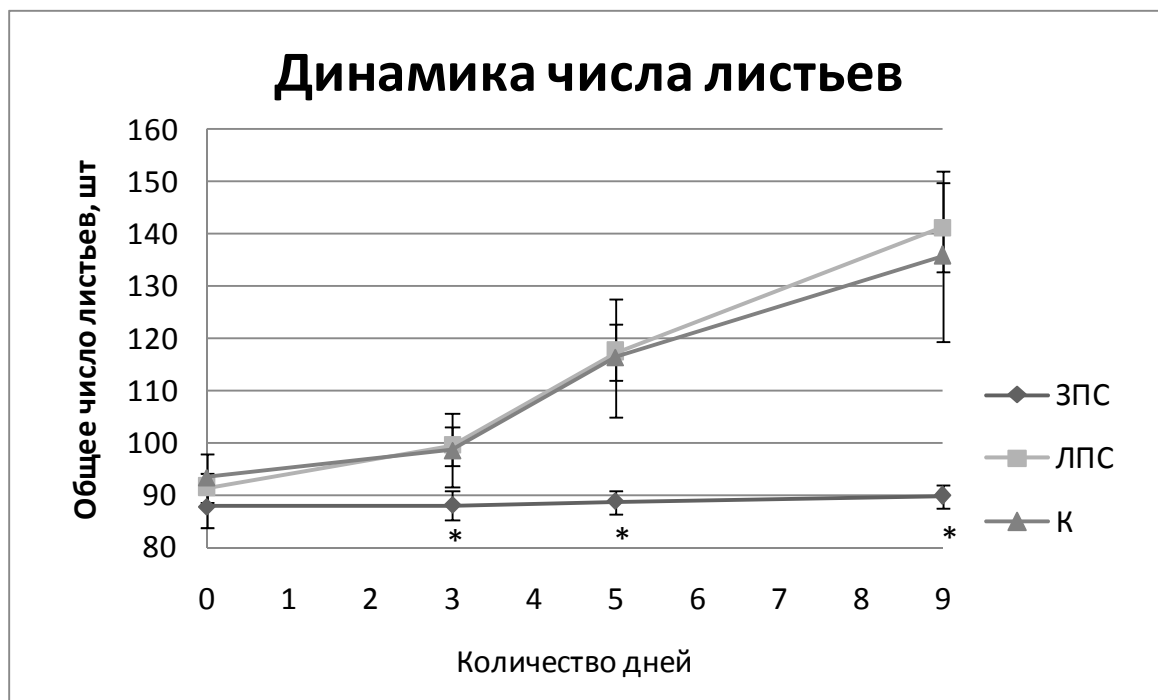
Активность каталазы определялась в водной вытяжке титрованием раствором перманганата калия по А.Н. Баху и А.И. Опарину [15].

### **Результаты и обсуждение**

Для первоначальной оценки качества поверхностного стока, использованного в данном эксперименте, содержание в нем примесей было сопоставлено со значениями допустимых концентраций для поверхностного стока с городской территории и поливомоечных вод, отводимых в водные объекты РБ (ДКПС) [3], а также со значением предельно допустимых концентраций для рыбохозяйственных водоемов РБ (ПДКРХ) [18]. Как в ЗПС, так и ЛПС ряд показателей превышает допустимые значения. Так, в ЗПС содержание хлорид-, фосфат-ионов и ионов аммония превышает ПДКРХ, содержание взвешенных веществ превышает ДКПС. В ЛПС содержание фосфат-ионов и ионов аммония превышает ПДКРХ, содержание взвешенных веществ и нефтепродуктов – ДКПС (таблица 1).

В проведенном нами эксперименте наблюдался поступательный рост числа листьев для растений в воде ЛПС и контроля на 54,8 и 45,6% соответственно (рисунок 1). В опыте с ЛПС статистически значимых отличий от контроля не выявлено. Статистически достоверная разница для общего числа листьев ряски малой была установлена только между контролем и опытом с ЗПС, в котором прироста практически не наблюдалось (прирост составил 2,3%), что мы связываем со значительным содержанием солей в ЗПС. Изменение численности особей ряски малой не показало статистических отличий между сезонными вариантами стока.

Косвенным доказательством наличия или отсутствия окислительного стресса может служить активность фермента каталазы в растительных клетках. Этот параметр в листьях ряски малой в ЗПС по сравнению с контролем повысился на 78,5%, а в ЛПС понизился на 15,9%, оба различия являются статистически достоверными, в случае контроля активность не отличалась от исходной (рисунок 2). Повышение активности каталазы в опыте с ЗПС указывает на существенный окислительный стресс, которому подверглись растения в агрессивной среде ЗПС.



Знак \* указывает на наличие статистически достоверных отличий

**Рисунок 1 – Динамика числа листьев растений ряски малой за 9 дней в среде ЗПС, ЛПС и водопроводной воде (К)**

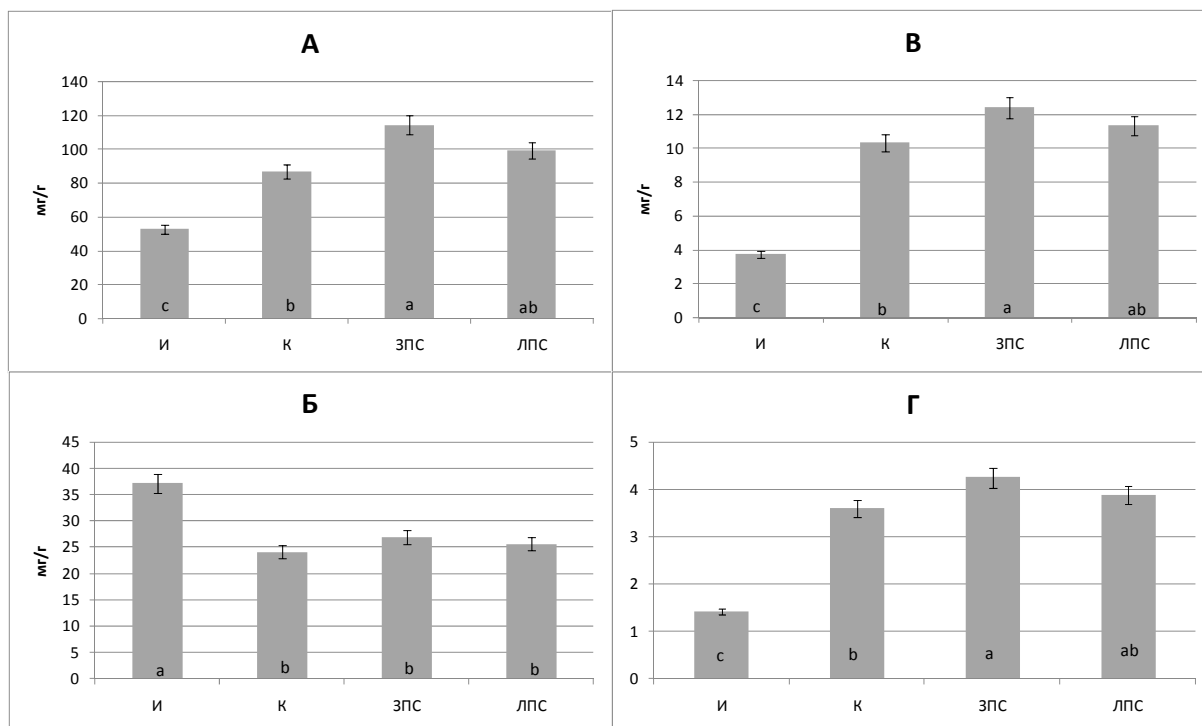


Буквы а, b, с указывают на наличие статистически достоверных отличий

**Рисунок 2 – Активность каталазы в растениях ряски малой до начала эксперимента (исх.) и по окончании эксперимента (через 9 дней экспозиции растений в среде водопроводной воды (К), ЗПС и ЛПС)**

На рисунке 3 представлены результаты измерения содержания фотосинтетических пигментов в растениях ряски малой до и после экспозиции в среде поверхностно-

го стока и водопроводной воды. Содержание хлорофилла а повысилось во всех вариантах опыта по сравнению с исходным, статистически достоверно увеличилось его содержание по сравнению с контролем в растениях, помещенных как в ЗПС, так и в ЛПС. Содержание хлорофилла b понизилось во всех вариантах опыта по сравнению с исходным, статистически достоверное различие с контролем отмечается только в растениях, подвергнутых воздействию ЗПС. При этом наблюдался рост отношения хлорофилла а к хлорофиллу b. Достоверно значимое различие с контролем получено только для опыта с ЗПС.



Буквы а, b, с указывают на наличие статистически достоверных отличий

**Рисунок 3 – Содержание хлорофилла а (А), хлорофилла b (Б), каротиноидов (В) и соотношение хлорофилла а к хлорофиллу b (Г) в растениях ряска малой до начала эксперимента (И) и по окончании эксперимента после экспозиции в среде водопроводной воды (К), ЗПС и ЛПС.**

Содержание каротиноидов в растениях ряска малой увеличилось во всех вариантах опыта по сравнению с исходным, статистически значимые различия отмечаются между контролем и опытом с ЗПС.

Компонентом, оказывающим наибольшее токсическое действие, являются хлорид-ионы, т.к. их концентрация в ЗПС более чем в 130 раз превышает таковую в ЛПС, и соответствует соленым (морским или минеральным) водам. Повышенное содержание хлорида натрия в среде является отрицательным фактором, т.к. ведет к ингибированию многих жизненно важных функций. Реакция растительных организмов на засоление, как правило, является неспецифической. Виды растений проявляют разную степень чувствительности к солевому стрессу, но общим является снижение ростовых процессов и темпов нарастания биомассы. Это связано с торможением синтеза белков и нуклеиновых кислот под влиянием засоряющих ионов. Такое неблагоприятное действие связано как со снижением доступности воды, так и с токсическим действием засоряющих ионов на клетки растений [19; 20].

Влияние повышенного содержания соли ведет к развитию окислительного стресса в растительном организме из-за повышения содержания активных форм кислорода, оказывающих действие на все системы организма. Одной из распространенных форм реакции растений на действие широкого спектра загрязняющих веществ является повышенная генерация перекиси водорода в клеточных компартментах. Перекись водорода является достаточно стабильным соединением и способна диффундировать от места образования, вызывая в растительной клетке разнообразные повреждения [19; 21].

Наблюдаемое при солевом воздействии ингибирование ростовых процессов часто связывают с уменьшением скорости фотосинтеза, однако литературные данные по влиянию повышенного содержания солей на фотосинтетическую активность противоречивы [19]. Ряд авторов сообщает о снижении фотосинтетической активности и содержания фотосинтетических пигментов под воздействием солевого стресса, другие же исследования не показывают существенного эффекта или свидетельствуют о повышении содержания пигментов.

Генерация активных форм кислорода тесно связана с процессом фотосинтеза [19]. Фотосинтетический аппарат является одним из наиболее чувствительных к воздействию загрязнителей аппаратов растений, т.к. хлоропласты выступают мощным источником активных форм кислорода в растительной клетке. Важным фактором для нормального функционирования фотосинтетического аппарата и для понимания механизмов адаптации растений к воздействию стрессовых факторов является количество фотосинтетических пигментов и соотношение их разных групп, которое считается одним из показателей фотохимической активности [20]. Причиной снижения содержания хлорофилла может служить повышенное содержание ионов натрия [24]. Изменение содержания в листьях хлорофилла может быть объяснено нарушением под воздействием солевого стресса процесса биосинтеза или разрушением пигмента. Однако в процессе разрушения пигментов хлорофилл b может превращаться в хлорофилл a, таким образом приводя к повышению его содержания [24; 25].

Увеличение содержания хлорофилла a и снижение содержания хлорофилла b является приспособительной реакцией ряски малой к действию засоления, свидетельствуя о нарушении нормального процесса биосинтеза этих пигментов и значительной степени разрушения хлорофилла b. Этому эффекту способствует также и повышенное значение pH среды в ЗПС (таблица 1) [20].

Сопоставляя данные по изменению содержания хлорофилла a с данными по динамике числа листьев, можно отметить, что эти два параметра имеют обратную корреляцию ( $r = -0,89$ ), что может компенсировать интенсивность фотосинтеза.

Значительный интерес представляет изучение отношения содержания хлорофилла a к хлорофиллу b. Его изменение может рассматриваться как нарушение в стехиометрии между комплексами реакционных центров фотосистем и светособирающего комплекса II [20; 26].

Увеличение данного показателя в опыте с ЗПС позволяет предположить, что воздействию подвержен светособирающий комплекс тилакоидных мембран данной тест-культуры. Высокие концентрации хлорида натрия вызывают усиление генерации активных форм кислорода. Они могут образовываться в электрон-транспортной цепи хлоропластов и митохондрий. Окислительный стресс может вызывать перекисное окисление липидов, инактивацию белков и ферментов, нарушение целостности мембран и деградацию хлорофилла [27]. Таким образом, повышение соотношения хлорофилла a к хлорофиллу b может косвенно указывать на нарушение структуры фотосинтетического аппарата клетки.

При адаптации растений к действию неблагоприятных факторов среды существенную роль играют каротиноиды, проявляющие антиоксидантные свойства [10; 28]. Повышение содержания каротиноидов имеет адаптивное значение, т.к. им принадлежит протекторная роль. Каротиноиды являются компонентами антиоксидантной системы, в функции которой входит защита мембран от повреждающего действия свободных радикалов [26; 28]. Они способны переводить триплетный хлорофилл и синглетный кислород в основное состояние за счет образования триплетного каротиноида, который диссипирует энергию в тепло, таким образом, препятствуя развитию окислительных процессов [28].

Повышение содержания каротиноидов в листьях растений ряски малой в воде ЗПС и ЛПС по сравнению с контролем указывает на активное функционирование адаптивных механизмов в фотосинтетическом аппарате растений при действии неблагоприятных условий среды.

Для биосинтеза хлорофилла необходимым элементом является железо, симптомами дефицита которого являются пониженное содержание хлорофилла в листьях, повышенные значения отношения хлорофилла а / хлорофилла b и снижение фотосинтетической активности [29]. Т.о., показанные в данном эксперименте результаты могут служить свидетельством проявления кросс-адаптации к негативному воздействию агрессивной среды поверхностного стока и дефициту железа.

Исходя из показанных изменений биохимических параметров, можно заключить, что как в ЛПС, так и в ЗПС растения ряски малой подверглись токсическому воздействию, однако степень стресса в ЛПС была значительно ниже. Это показывает, что применение биохимических параметров, обладающих большей чувствительностью и амплитудой действия по сравнению со структурными, позволяет дать более раннюю и точную оценку воздействия различных факторов на живые организмы.

### **Заключение**

Полученные оригинальные результаты эксперимента свидетельствуют о значительном влиянии физико-химических свойств вод поверхностного городского стока на тест-объекты, что выражалось в ослаблении роста, уменьшении биомассы и повышении смертности у тест-объектов, а также изменении физиологических параметров: активность ферментов, содержание фотосинтетических пигментов. Важнейшим загрязнителем в ЗПС являлся хлорид натрия, тогда как для ЛПС отмечается большее присутствие нефтепродуктов и ионов аммония. Отмечена более высокая чувствительность функциональных параметров и протекторная роль некоторых фотосинтетических пигментов. Впервые данный тест-объект использовался для мониторинга поверхностных сточных вод. Подтверждена возможность использования данного метода при мониторинге водных объектов в условиях Бреста.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2011 [Электронный ресурс]. Под общей редакцией С.И. Кузьмина, И.В. Комоско. – Мн. : РУП «Бел НИЦ «Экология», 2012. – С. 183–204.
2. Горюнова, С.В. Экологические аспекты исследования состояния урбанизированных водных объектов (на примере одного из прудов г. Москвы) / С.В. Горюнова // Вестник РУДН. Экология и безопасность жизнедеятельности. – № 1 (13). – 2006. – С. 28–33.

3. ТКП 17.06-08-2012 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод.
4. Marsalek, J. Aquatic habitat issues in urban storm water management: challenges and potential solutions / J. Marsalek, Q. Rochfort, L. Grapentine // *Ecohydrology and Hydrobiology*. – № 5. – 2005. – P. 269–279.
5. Невзорова, А.Б. Мониторинг техногенной нагрузки от поверхностных сточных вод на городскую дождевую канализацию / Невзорова А.Б. [и др.] // *Вестник Брестского государственного технического университета*. – 2011. – №2. – С. 61–66.
6. Bulskaya, I. Inorganic constituents in surface runoff from urbanised areas in winter: the case study of the city of Brest, Belarus / I. Bulskaya, A. Volchek // *Oceanologia*. – № 56 – 2014. – P. 373–383.
7. Vystavna, Y., Monitoring and flux determination of trace metals in rivers of the Seversky Donets basin (Ukraine) using DGT passive samplers / Y. Vystavna, F. Huneau, M. Motelica-Heino., P. Le Coustumer, Y. Vergeles, F. Stolberg // *Environmental Earth Science*. – № 65. – 2012. – P. 1715–1725.
8. Adriano, D.C., Role of assisted natural remediation in environmental cleanup / D.C. Adriano, W.W. Wenzel, J. Vangronsveld, N.S. Bolan // *Geoderma*. – № 122. – 2004. – P. 121–142.
9. Колбас, А.П. Использование показателей стабильности развития древесных растений для оценки качества среды городских территорий (на примере г. Бреста) / А.П. Колбас, Н.Ю. Колбас // *Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац. : у 2 т. / НАН Беларусі, Палескі аграрна-экалагічны інстытут / рэдкал.: М.В. Міхальчук (адк. рэд.) [і інш.]. – Брэст.: Альтернатива, 2010. – Выпуск 3. – Т. 1. – С. 60–63.*
10. Kolbas, A. Phenotypic seedling responses of a metal-tolerant mutant line of sunflower growing on a Cu-contaminated soil series: potential uses for biomonitoring of Cu exposure and phytoremediation / A. Kolbas, L. Marchand, R. Herzig, E. Nehnevajova, M. Mench // *Plant and Soil*. – 2014. – № 376. – P. 377 – 397.
11. Marchand, L. Phytotoxicity testing of lysimeter leachates from aided phytostabilized Cu-contaminated soils using duckweed (*Lemna minor* L.) / L. Marchand, M. Mench, C. Marchand, P. Le Coustumer, A. Kolbas and J-P. Maalouf // *The Science of the total environment*. – 2010. – № 410. – P. 146–153.
12. Hoagland, D.R. The water culture method for growing plants without soil / D.R. Hoagland, D.I. Arnon // *College of agriculture experiment station Berkeley, California*. – Circular 347. – 1938. – P. 40.
13. ISO 2005 Soil quality - Determination of the effects of pollutants on soil flora In Part 2: Effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants, Geneva.
14. Мухавец: энциклопедия малой реки / А.А. Волчек [и др.]. – Брест : Академия. – 2006. – 344 с.
15. Филиппович, Ю.Б. Практикум по общей биохимии / Ю.Б. Филиппович, Т.А. Егорова, Г.А. Севастьянова. – М. : Просвещение, 1975. – 317 с.
16. Шлык, А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // *Биохимические методы в физиологии растений* / под ред. О.А. Павлиновой. – М. : Наука, 1971. – С. 154–170.
17. Починок, Х.Н. Методы биохимического анализа растений / Х.Н. Починок. – Киев : Наук. думка, 1976. – С. 213–216.
18. Приложение 1 к постановлению Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и Министерства здравоохранения Республики Беларусь 08.05.2007 N 43/42 (в редакции постановления Министерства природных

ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и Министерства здравоохранения Республики Беларусь 24.12.2009 N 70/139). – Минск, 2009. – 67 с.

19. Гарифзянов, А.Р. Функциональное состояние фотосинтетического аппарата проростков тритикале при хлоридном засолении / А.Р. Гарифзянов, Н. Н. Жуков, А.А. Кособрюхов, В. В. Иванищев // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2014. – Вып. 1. Ч.1. – С. 280–290.

20. Еремченко, О.З. Содержание пигментов в растениях *Lepidium sativum* в условиях хлоридно-натриевого засоления и ошелачивания / О. З. Еремченко, М. Г. Кусякина, Е. В. Лузина // Вестник Пермского университета. Биология. – 2014. – Вып. 1. – С. 30–35.

21. Колупаев, Ю.Е. Активные формы кислорода в растениях при действии стрессоров: образование и возможные функции / Ю.Е. Колупаев // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Сер. Биология. – 2007. – Вып. 3(12). – С. 6–26.

22. Bong, I G. Gas-exchange properties of salt-stressed olive (*Olea europea* L.) leaves / I.G. Bong, F. Loreto // Plant Physiol. – 1989. – V. 90. – P. 1408–1416.

23. Гарифзянов, А.Р. Окислительный стресс и устойчивость растений / А.Р. Гарифзянов, С.В. Горелова // Тульский экологический бюллетень. – 2006. – Вып. 2. – С. 364–368.

24. Ashraf, F. Photosynthesis under stressful environments: An overview / F. Ashraf, P.J.C. Harris // Photosynthetica. – 2013. – № 51 (2). – P. 163–190.

25. Eckardt, N.A. A new chlorophyll degradation pathway / N.A. Eckardt // Plant Cell. – 2009. – № 21. – P. 700.

26. Дымова О.В., Состояние пигментного аппарата растений живучки ползучей в связи с адаптацией к световым условиям произрастания / О.В. Дымова, Т.К. Головкин // Физиология растений. – 2007. – Т. 54, № 1. – С. 47–53.

27. Креславский, В.Д. Сигнальная роль активных форм кислорода при стрессе у растений / В.Д. Креславский [и др.] // Физиология растений. – 2012. – Т. 59, № 2. – С. 163–178.

28. Чиркова, Т.В. Физиологические основы устойчивости растений : учеб. пособие / Т.В. Чиркова – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2002. – С. 58–68.

29. Bravin, M.N. RHIZOtest: A plant-based biotest to account for rhizosphere processes when assessing copper bioavailability / M.N. Bravin, A.M. Michaud, B. Larabi, P. Hinsinger // Environmental Pollution. – № 158. – 2010. – P. 3330–3337.

#### ***I. Bulskaya, A. Kolbas, D. Dyluk Evaluation Of Surface Runoff In Brest Using Duckweed***

Original results of the phyto test of Brest city surface runoff of winter (snowmelt) and summer (rain fall) periods using duckweed (*Lemna minor* L.) as a test object are presented in the article. Substantial inhibition of the plants growth was shown in the winter surface runoff because of the high chloride ions concentration which originate from the de-icing reagents. Funktional paramiters (aktivity of katalaza and photosintetic pygments content) were prooved to be more sensitive then morfologycal. The protection role of some pigments was discussed. The possibility of the usage of the method for water bodies monitoring of the city of Brest was prooved.