

УДК 504.73.05/06(571.122)+581.19

doi: 10.17223/19988591/19/8

И.В. Кравченко¹, Л.Ф. Шепелева², М.В. Филимонова¹, Л.В. Ганюшкин¹

¹Научно-исследовательский институт природопользования
и экологии Севера (г. Сургут)

²Сургутский государственный университет (г. Сургут)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТ СИСТЕМЫ АСКОРБАТА В РАСТЕНИЯХ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ УЧАСТКОВ СУРГУТСКОГО РАЙОНА

Проведена оценка количественного содержания кислот системы аскорбата в растениях полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.), тростника обыкновенного (*Phragmites australis* Trin. Ex Steud.), ситника альпийско-членистого (*Juncus alpino-articulatus* Chaix.) и кипрея узколистного (*Chamerion angustifolium* Holub.), произрастающих на нефтезагрязненных участках Сургутского района. Результаты исследований показали, что эти растения имеют повышенный уровень дегидроаскорбиновой и дикетогулоновой кислот, что объясняется высокой активностью аскорбатоксидазы. Тростник обыкновенный и ситник альпийско-членистый отличаются устойчивостью к нефтяному загрязнению, а кипрей узколистный – чувствительностью к этому фактору, что может использоваться для биоиндикации.

Ключевые слова: аскорбиновая кислота; дегидроаскорбиновая кислота; аскорбатоксидаза; нефтезагрязнение; растения.

Введение

В Ханты-Мансийском автономном округе нефтегазодобывающая промышленность является основной отраслью. Югра лидирует не только в России, но и в мире по чрезвычайным техногенным ситуациям, связанным с выбросами нефти и нефтепродуктов [1].

Растения эволюционно не приспособлены к столь интенсивному загрязнению окружающей среды. Загрязняющие вещества, нарушая физиологические процессы растений, оказывают не только прямое отрицательное воздействие [2], но и сужают пределы толерантности к естественным факторам среды [3]. Общим следствием любого стрессового воздействия на организм растения является продукция свободных радикалов, инактивирующих энзимы, повреждающие важные клеточные компоненты. Антиоксидантная система растений обеспечивает работу механизмов противостояния окислительному стрессу и включает в себя как низкомолекулярные антиоксиданты (аскорбиновая кислота, флавоноиды, каротин), так и ферменты антиоксидантного действия. В последнее время из-за увеличения техногенной нагрузки на живые организмы, в том числе растения, особенно актуальным является изучение их механизмов защиты от неблагоприятных факторов среды.

Известно, что аскорбиновая кислота (АК) входит в систему защиты растений благодаря ее способности обратимо окисляться и восстанавливаться [4, 5].

Многие современные исследования направлены на изучение низкомолекулярных антиоксидантов как биохимических индикаторов загрязнения окружающей среды, а также как биомаркеров физиологического состояния растений, произрастающих в стрессовых условиях среды [1–5]. Научные исследования по адаптации растений к нефтяному загрязнению и другим поллютантам, а также оценке их физиологического состояния при действии стрессоров проводятся в России сравнительно недавно. Многие исследования в этой области направлены на поиск биомаркеров для экологического мониторинга [6–10]. Применение биоиндикационных методов на уровне метаболических реакций автотрофных организмов необходимо для ранней диагностики экологического неблагополучия. Следовательно, изучение механизмов адаптации растений к антропогенным стрессорам является актуальной задачей.

Целью работы являлось изучение закономерностей распределения кислот системы аскорбата в ряде видов растений (полынь обыкновенная – *Artemisia vulgaris* L., тростник обыкновенный – *Phragmites australis* Trin. Ex Steud., ситник альпийско-членистый – *Juncus alpino-articulatus* Chaix. и кипрей узколистный – *Chamerion angustifolium* Holub.) нефтезагрязненных участков Сургутского района.

Материалы и методики исследования

Для изучения количественного содержания кислот системы аскорбата в растениях проводились определение количественного содержания аскорбиновой (АК), дегидроаскорбиновой (ДАК) кислот, их метаболита – дикетогулоновой кислоты (ДКГК) в растениях нефтезагрязненных территорий, определение активности аскорбатоксидазы в растениях, произрастающих на территории кустовых оснований, сравнение количественного содержания кислот системы аскорбата в различных видах растений для оценки возможности их адаптации к условиям нефтезагрязнения.

Отбор образцов и подготовка к анализу проводились в соответствии с методическими рекомендациями «Определение химического состава растительных материалов» [11]. За «условно чистую» была принята территория Барсовой горы. Барсова гора расположена в 20 км от г. Сургута, доминирует над окружающей территорией, поскольку ее высота более 30 м над урезом воды. Для плоского равнинного ландшафта Западной Сибири – это одна из довольно высоких точек.

Сбор растений для определения аскорбиновой кислоты и ее производных проводился летом 2005 и 2006 гг. Листья срезались, очищались от земли и промывались в проточной воде. Пробы отбирались в пятикратной повторности. Летом 2005 г. растения для анализа были собраны с кустовых оснований, в 2006 г. сбор растений проводился на территории Усть-Балыкского

и Южно-Сургутского месторождений [12, 13]. Свежесобранные растения, очищенные и отмытые от остатков почвы, разбирались в лаборатории от сторонних примесей и взвешивались на электронных весах. Далее материал высушивался в затененной комнате с хорошей вентиляцией при комнатной температуре и периодически перемешивался. Листья и трава раскладывались тонким слоем. Высушенный растительный материал был подготовлен к анализам: взвешен на электронных весах, измельчен на кофемолке и хранился в банках, снабженных этикетками с указанием названия растения, времени и места сбора, а также сырого и сухого веса.

Исследование выполнено на базе лаборатории витаминов, микроэлементов и обмена веществ Научно-исследовательского института природопользования и экологии Севера Сургутского государственного университета ХМАО–Югры (г. Сургут).

Для анализа растительных образцов использовалась методика Г.Н. Чупахиной по определению аскорбиновой, дегидроаскорбиновой и дикетогулоновой кислот [14].

Статистическая обработка полученных результатов анализов проведена с помощью программы Ms Office Excel. Рассчитаны следующие показатели: среднее (M), дисперсия выборки (D), стандартное отклонение (δ), доверительный интервал с $p = 0,95$, стандартная ошибка (m). Для определения статистической значимости различий использовался t -тест.

Характеристика нефтезагрязненных участков:

На **Усть-Балыкском месторождении** были выбраны мониторинговые площадки Т1А, Т2А, Т3 [12]. Исследуемый участок является пойменным, что во многом определяет скорость его восстановления после антропогенного влияния. При авариях нефтепроводов в почву вместе с нефтью попадают пластовые воды, чрезмерно обогащенные Cl , таким образом, нефтяному загрязнению сопутствует солевое. Для растительности обилие солей и нефтепродуктов в почве является важным лимитирующим фактором.

На пойменных участках довольно быстро происходит естественное вымывание солей, вследствие чего восстановление растительности протекает успешнее, чем на других нефтезагрязненных землях [13].

Мониторинговая площадка Т3. На данном участке была проведена отсыпка песчано-глинистой смесью поверх нефтезагрязненной почвы с последующим фрезерованием. Общее проективное покрытие травостоя – 50% [13]. Доминантными являются виды *J. alpino-articulatus* и *P. australis* с проективным покрытием 30 и 15% соответственно. Растительность площадки Т3 формируется в мезоэуτροφных условиях, согласно оценке по шкале богатства-засоления. По шкале увлажнения это сырые местообитания [15, 16].

Мониторинговая площадка Т2А. Сбор растительного материала также проводился на глинисто-песчаной отсыпке. Общее проективное покрытие 80–85%. Преобладают следующие виды: *P. australis* (проективное покрытие 35%); *Eriophorum scheuchzerii* Норпе (25%); а также *Agrostis clavata* Trin. и

Calamagrostis neglecta Mey. et Scherb. (12%). В 2006 г. на данной территории растительность оценивалась по богатству и засолению как мезоэуτροφная. Преобладали виды растений, для которых характерны по увлажнению сырые условия.

Мониторинговая площадка Т1А. Мониторинговая площадка Т1А является отсыпкой. Общее проективное покрытие участка 50%. Проективное покрытие доминантных видов *Calamagrostis purpurea* Trin., *Carex vesicaria* L., *Carex aquatilis* Wahlenb. составляет 20, 13, 10% соответственно. Растительность площадки формируется в мезоэуτροφных сырых условиях.

Южно-Сургутское месторождение расположено на останце второй надпойменной террасы. Участок является заболоченным и представляет собой верховое болото, переходящее в кедрач кустарниково-зеленомошный. Данные химического анализа почв показывают, что нефтяному загрязнению сопутствует солевое [16].

Для исследования были выбраны точки 2А, 2Б, Т1'А, описание 1 и описание 2, являющиеся отсыпками. Растительность площадок формируется в мезоэуτροφных условиях, согласно оценке по шкале богатства-засоления. По шкале увлажнения это влажные местообитания, исключение – описание 2, по увлажнению оно является сырым. Общее проективное покрытие травостоя площадок 2А и 2Б 70–75%. На площадке 2А доминантными являются виды *A. clavata*, *Carex acuta* L., *Eriophorum polystachion* L. с проективным покрытием 20, 30, 20% соответственно.

На площадке 2Б преобладают следующие виды: *A. clavata* (20%), *Juncus bufonius* L. (25%), *Melilotus albus* Medik. (12%). Общее проективное покрытие площадок Т1'А, описание 1 и описание 2 составляет по 85%. На Т1'А доминантами являются *E. polystachion* (45%) и *Bromopsis inermis* Holub (30%). На описании 1 преобладают виды *Agrostis gigantea* Roth (35%) и *C. acuta* (25%), на описании 2 – *A. gigantea* (40%) и *J. alpino-articulatus* (15%).

Для исследования *кустовых оснований* были выбраны кусты скважин: № 912 Федоровского месторождения, № 11 и 132 Восточно-Сургутского месторождения, № 110, 264 и 279Б Западно-Сургутского месторождения, № 24 Солкинского месторождения, № 79, 141 и 142 Быстринского месторождения. Кусты скважин имеют отсыпанные песком или супесью на 1,5–2 м возвышенные и обвалованные основания, реже – это просто расчищенные и обвалованные участки. Общее проективное покрытие растений здесь, как правило, менее 10%. Преобладают виды *C. angustifolium*, *A. vulgaris*, изредка встречаются *Plantago major* L., *Taraxacum officinale* Wigg.

Результаты исследования и обсуждение

Научные исследования по адаптации растений к нефтяному загрязнению и другим поллютантам, а также по оценке их физиологического состояния при действии стрессоров проводятся в России сравнительно недавно. Загрязнение природных комплексов нефтью и нефтепродуктами – важнейшая

проблема ХМАО, причем территория округа практически не изучалась с точки зрения накопления биологически активных веществ растений в условиях нефтяного загрязнения. Имеются только единичные работы, поэтому исследования по содержанию биологически активных веществ в надземной фитомассе растений нефтезагрязненных участков ХМАО являются актуальными. Комплексная оценка содержания биологически активных веществ у растений, произрастающих в условиях нефтяного загрязнения, необходима для ранней диагностики степени неблагоприятного воздействия на экосистемы.

Особенности синтеза кислот системы аскорбата растений кустовых оснований. Наибольшим содержанием аскорбиновой кислоты и активностью аскорбатоксидазы отличались листья растений *C. angustifolium*, собранные с кустовых оснований № 279Б и 132 (табл. 1). В качестве контроля были использованы растения *C. angustifolium*, *A. vulgaris*, собранные на территории Барсовой горы. В основном количественное содержание ДАК у растений кустов скважин было повышенным. Самым высоким содержанием ДКГК характеризовались растения кустов скважин № 279Б, 110 и 132 (табл. 2), где ее содержание превысило контрольное значение в 16, 5,7 и 5,4 раза соответственно. Замечено, что у растений, имеющих высокие значения содержания ДКГК, повышен уровень активности аскорбатоксидазы (табл. 1). Корреляционный анализ показал наличие высокой положительной зависимости между показателем содержания ДКГК и активностью аскорбатоксидазы ($r = 0,9$).

Также выявлена положительная корреляционная зависимость средней силы ($r = 0,6$) между показателем содержания АК и активностью аскорбатоксидазы. Высокое содержание ДКГК у растений, подверженных воздействию нефтяного загрязнения, может объясняться высокой активностью аскорбатоксидазы, что является причиной активного использования пулов АК и ДАК на ликвидацию последствий неблагоприятного воздействия среды.

Таблица 1

Показатели активности аскорбатоксидазы в растениях *C. angustifolium* и *A. vulgaris* нефтезагрязненных территорий

| Место отбора проб | Содержание аскорбатоксидазы, мккат/л | |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------|
| | <i>C. angustifolium</i> | <i>A. vulgaris</i> |
| Контроль | 36,6 ± 1,07 | 134,1 ± 1,7 |
| Кустовые основания | | |
| № 132 | 226,0 ± 8,9 | 219,7 ± 8,0 |
| № 11 | 160,9 ± 6,7 | 208,7 ± 1,6* |
| № 110 | 162,4 ± 2,6* | 195,5 ± 4,7 |
| № 279Б | 509,0 ± 19,8 | 345,2 ± 10,2* |
| № 264 | 128,3 ± 5,6* | – |
| № 24 | 84,9 ± 5,5 | – |
| № 141 | 115,5 ± 8,3* | – |
| № 79 | 154,4 ± 7,8 | – |
| № 912 | – | 142,5 ± 5,3 |
| № 142 | – | 161,4 ± 0,8* |

* Различия статистически значимы по отношению к контрольному варианту ($p < 0,05$).

Таблица 2

Содержание кислот системы аскорбата в растениях *C. angustifolium* и *A. vulgaris* кустовых оснований нефтезагрязненных территорий, мг/100 г

| Кислоты системы аскорбата | Место отбора проб | <i>C. angustifolium</i> | <i>A. vulgaris</i> |
|---------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| АК, мг/100 г | Контроль | 11,8 ± 0,17 | 11,6 ± 0,003 |
| | № 279Б | 21,2 ± 0,07* | 21,2 ± 0,07* |
| | № 110 | 5,6 ± 0,02* | 11,8 ± 0,03 |
| | № 132 | 16,6 ± 0,07* | 7,4 ± 0,04* |
| | № 264 | 10,0 ± 0,03* | – |
| | № 11 | 5,8 ± 0,03* | 1,8 ± 0,006* |
| | № 24 | 12,7 ± 0,06 | – |
| | № 141 | 1,3 ± 0,003* | – |
| | № 79 | 8,6 ± 0,02* | – |
| | № 912 | – | 7,8 ± 0,03* |
| ДАК, мг/100 г | Контроль | 12,3 ± 0,01 | 14,9 ± 0,01 |
| | № 279Б | 19,0 ± 0,06* | 59,5 ± 0,13* |
| | № 110 | 40,0 ± 0,1* | 32,5 ± 0,08* |
| | № 132 | 9,8 ± 0,05* | 20,8 ± 0,1* |
| | № 264 | 13,0 ± 0,04 | – |
| | № 11 | 41,1 ± 0,17* | 16,3 ± 0,07 |
| | № 24 | 30,3 ± 0,13* | – |
| | № 141 | 24,6 ± 0,14* | – |
| | № 79 | 9,8 ± 0,04* | – |
| | № 912 | – | 9,2 ± 0,03* |
| ДКГК, мг/100 г | Контроль | 15,6 ± 0,02 | 10,6 ± 0,02 |
| | № 279Б | 209 ± 0,2* | 61,3 ± 0,16* |
| | № 110 | 89,2 ± 0,2* | 27,8 ± 0,07* |
| | № 132 | 85,0 ± 0,2* | 39,5 ± 0,17* |
| | № 264 | 63,8 ± 0,16* | – |
| | № 11 | 59,9 ± 0,17* | 29 ± 0,13* |
| | № 24 | 48,5 ± 0,17* | – |
| | № 141 | 40,8 ± 0,05* | – |
| | № 79 | 21,0 ± 0,04* | – |
| | № 912 | – | 39,6 ± 0,14* |
| № 142 | – | 15,9 ± 0,08* | |

Растения *A. vulgaris* проявляли похожую, но менее выраженную реакцию: содержание АК у растений кустового основания № 279Б превышало контрольное в 1,8 раза, у растений кустовых оснований № 912, 132, 11 и 142 наблюдалось снижение содержания АК ниже контрольного значения (табл. 2).

Растения кустовых оснований также содержали высокие концентрации ДАК. Наибольшее количество ДКГК обнаружено у растений кустов скважин № 279Б, 912 и 132 (см. табл. 2).

У растений *A. vulgaris* выявлена высокая положительная корреляционная зависимость между показателем содержания ДАК и активностью аскорбатоксидазы ($r = 0,89$); показателем содержания ДКГК и активностью аскорбатоксидазы ($r = 0,82$), а также корреляционная связь средней силы между

показателем содержания АК и активностью аскорбатоксидазы ($r = 0,63$). Соотношение АК/ДАК является показателем физиологического состояния растений: высокая интенсивность процессов жизнедеятельности – больше восстановленной АК, низкая интенсивность – растет содержание дегидроформы [17]. Оценивая соотношение АК/ДАК растений *C. angustifolium* и *A. vulgaris* нефтезагрязненных территорий, можно наблюдать его уменьшение в 2 раза в обоих случаях, по сравнению с контролем. Следовательно, растения находились в состоянии угнетения процессов жизнедеятельности.

Тем не менее растения вида *A. vulgaris* отличаются более усиленным синтезом АК при высоком уровне ДКГК, чем растения вида *C. angustifolium*, следовательно, полынь обыкновенная более устойчива к воздействию нефтезагрязнений.

Особенности синтеза кислот системы аскорбата растений нефтезагрязненных участков:

Наибольшим содержанием аскорбиновой кислоты отличались листья растений *C. angustifolium*, собранные с участка ТЗ Усть-Балыкского месторождения (табл. 3). Самым высоким содержанием ДКГК характеризовались растения с участка Т2А Усть-Балыкского месторождения (табл. 3). При этом большинство растений имело повышенный уровень ДАК, что является результатом интенсивного использования АК при действии стрессирующего фактора. В качестве контроля были использованы растения *C. angustifolium*, *J. alpino-articulatus*, *P. australis*, собранные в лесном массиве Барсовой горы.

Анализ содержания ДКГК показал наиболее высокое значение этого пула в растениях *C. angustifolium*, произраставших на площадке Т2А (табл. 3).

Количественный анализ уровня ДКГК может служить показателем определенной направленности физиологических процессов, так как реакция образования ДКГК необратима и ДКГК является конечным продуктом, не являющим биологической активности.

Таким образом, повышение содержания ДКГК у растений на нефтезагрязненных участках месторождений, вероятно, является результатом использования биологически активных пулов АК и ДАК на ликвидацию последствий неблагоприятного воздействия среды [18].

Известно, что соотношение АК/ДАК является показателем физиологического состояния растений: высокая интенсивность процессов жизнедеятельности – больше восстановленной АК, низкая интенсивность – растет содержание дегидроформы [17]. В процессе воздействия на дыхание важная роль принадлежит соотношению АК/ДАК, поскольку последняя, функционируя как переносчик водорода в дыхательной цепи растений, отвлекает часть водорода окисляемого субстрата, что, вероятно, и приводит к торможению дыхания. Показано, что ДАК тормозит активность дегидрогеназ, интенсивность восстановительных синтезов, образование макроэргических связей. Поэтому повышение отношения АК/ДАК за счет уменьшения ДАК сопровождается усилением дыхания и роста растительных клеток [17].

Таблица 3

Содержание кислот системы аскорбата в растениях Усть-Балыкского и Южно-Сургутского месторождений, мг/100 г

| Кислоты системы аскорбата | Месторождения | <i>C. angustifolium</i> | <i>J. alpino-articulatus</i> | <i>P. australis</i> |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------|
| | Мониторинговые площадки | | | |
| АК, мг/100 г | Усть-Балыкское | | | |
| | T1A | 2,8 ± 0,1 | 0,34 ± 0,02 | 1,94 ± 0,06 |
| | T2A | 0,5 ± 0,02 | 2,16 ± 0,05 | 1,64 ± 0,04 |
| | T3 | 3,84 ± 0,07 | 1,35 ± 0,03 | 3,45 ± 0,08 |
| | Южно-Сургутское | | | |
| | T'1A | 1,19 ± 0,08 | 0,52 ± 0,02 | 0,88 ± 0,03 |
| | 2A | – | 0,97 ± 0,03 | – |
| | 2Б | – | 0,26 ± 0,02 | – |
| | Описание 2 | – | 0,86 ± 0,04 | 4,52 ± 0,09 |
| | Описание 1 | – | – | 1,95 ± 0,09 |
| ДАК, мг/100 г | Усть-Балыкское | | | |
| | T1A | 3,71 ± 0,06 | 0,7 ± 0,02 | 2,9 ± 0,11 |
| | T2A | 1,49 ± 0,09 | 0,63 ± 0,02 | 0,9 ± 0,02 |
| | T3 | 1,8 ± 0,07 | 2,31 ± 0,09 | 3,34 ± 0,14 |
| | Южно-Сургутское | | | |
| | T'1A | 2,52 ± 0,1 | 1,1 ± 0,03 | 2,92 ± 0,09 |
| | 2A | – | 0,72 ± 0,04 | – |
| | 2Б | – | 0,41 ± 0,03 | – |
| | Описание 2 | – | 0,85 ± 0,03 | 2,88 ± 0,09 |
| | Описание 1 | – | – | 2,21 ± 0,09 |
| ДКГК, мг/100 г | Усть-Балыкское | | | |
| | T1A | 17,14 ± 0,4 | 3,45 ± 0,13 | 13,32 ± 0,17 |
| | T2A | 17,42 ± 0,3 | 2,44 ± 0,07 | 10,37 ± 0,12 |
| | T3 | 17,07 ± 0,3 | 7,69 ± 0,23 | 12,63 ± 0,07 |
| | Южно-Сургутское | | | |
| | T'1A | 14,56 ± 0,3 | 3,22 ± 0,1 | 11,4 ± 0,11 |
| | 2A | – | 3,85 ± 0,1 | – |
| | 2Б | – | 5,37 ± 0,1 | – |
| | Описание 2 | – | 2,82 ± 0,1 | 16,13 ± 0,09 |
| | Описание 1 | – | – | 12,87 ± 0,13 |

Оценивая соотношение АК/ДАК растений *C. angustifolium* нефтезагрязненных территорий, можно наблюдать незначительное превышение содержания АК по сравнению с ДАК.

Сравнивая данные 2006 и 2005 гг., можно сказать, что кипрей узколистный с отсыпок месторождений находится в менее угнетенном состоянии (АК 51%, ДАК 49%), чем растения того же вида с кустовых оснований (АК 33%, ДАК 67%).

J. alpino-articulatus отличался высоким содержанием пулов АК в растениях, произраставших на точках T2A Усть-Балыкского месторождения, 2A и Описание 2 Южно-Сургутского месторождения, что характеризует наличие активного синтеза АК в ответ на высокий уровень загрязнения (см. табл. 3).

Наблюдалось в основном повышенное содержание ДАК. Наиболее высоких значений ДКГК достигало на точках ТЗ Усть-Балыкского и 2Б и 2А Южно-Сургутского месторождений (см. табл. 3).

Наибольшее содержание АК в листьях *P. australis* наблюдалось на точках ТЗ, Т1А Усть-Балыкского месторождения и Описание 2 и Т1'А Южно-Сургутского месторождения (табл. 3).

В растениях, произраставших на территории Усть-Балыкского месторождения, содержание ДАК в основном ниже содержания АК, в то время как в растениях, произраставших на территории Южно-Сургутского месторождения, ДАК в большинстве случаев выше АК, из чего следует, что растения Южно-Сургутского месторождения более интенсивно расходуют АК под давлением стрессовых факторов.

Площадки Т1А и ТЗ Усть-Балыкского месторождения и Описание 2 и Описание 1 Южно-Сургутского месторождения характеризовались наиболее высоким содержанием пулов ДКГК (см. табл. 3).

Анализируя соотношение АК/ДАК ситника, тростника и кипрея узколистного, можно сказать, что приспособительные возможности растений еще далеко не исчерпаны, так как происходит интенсивный ресинтез аскорбиновой кислоты. При оценке соотношения всех кислот системы аскорбата выявлено, что наибольшую приспособительную реакцию на Усть-Балыкском месторождении показал ситник, а на Южно-Сургутском – тростник, так как именно эти виды усиленно синтезируют АК при высоком уровне ДКГК.

Таким образом, исследования, проведенные на кустовых основаниях в 2005 г., показали высокую согласованность работы системы АК в условиях нефтяного загрязнения среды, что подтверждается корреляционными зависимостями между показателями АК, ДКГК и активностью аскорбатоксидазы. Кипрей узколистный оказался видом, чувствительным к нефтяному загрязнению, полынь обыкновенная – более устойчивым видом.

Исследования растений, произрастающих на отсыпках нефтезагрязненных территорий, позволили установить, что наибольшей устойчивостью к нефтяному загрязнению характеризовались ситник и тростник, в отличие от кипрея узколистного.

Данные биохимического анализа согласуются с работами, анализирующими устойчивость этих видов с точки зрения морфологии растений [19, 20]. Имеются литературные данные о наличии у этих растений морфологических приспособлений для существования в экстремальной среде (воздушные полости в стеблях, корнях и корневищах, мелкоклеточность). На наш взгляд, высокое содержание биологически активных веществ в осоках, ситниках и влаголюбивых злаках пойменных сообществ свидетельствует об успешной адаптации этих растений к загрязнению нефтепродуктами [21, 22].

Кипрей узколистный обладает другой стратегией: высокая семенная продуктивность, анемохория, позволяет данному виду широко осваивать нарушенные (свободные) участки, что не способствует формированию стойких

приспособительных реакций к нефтяному загрязнению среды, в отличие от многолетних растений, таких как полынь обыкновенная, семена которой не распространяются на большие расстояния [18].

Выводы

1. Растения, произрастающие на нефтезагрязненных территориях, имеют повышенный уровень дегидроаскорбиновой и дикетогулоновой кислот, что объясняется высокой активностью аскорбатоксидазы в ответ на стрессовые условия.

2. Обнаружена высокая корреляционная зависимость между показателями содержания аскорбиновой и дикетогулоновой кислот и активностью аскорбатоксидазы у растений нефтезагрязненных территорий, что говорит об интенсивном использовании аскорбиновой кислоты в ответ на стрессирующий фактор.

3. Из изученных растений, произрастающих на нефтезагрязненных территориях, наиболее устойчивы к нефтяному загрязнению *P. australis* и *J. alpino-articulatus*, которые отличаются усиленным синтезом АК при высоком уровне ДКГК.

4. *S. angustifolium* отличается высокой чувствительностью к нефтезагрязнению, что проявляется в значительном повышении содержания дикетогулоновой кислоты.

Литература

1. Чижов Б.Е. Лекции по рекультивации нефтезагрязненных земель в Ханты-Мансийском округе. Тюмень : Изд-во ТГУ, 2000. 84 с.
2. Мифтахова А.М. Прямое и трансбиотическое влияние нефтяного загрязнения почв на высшие растения : автореф. ... канд. биол. наук. Уфа, 2002. 17 с.
3. Духовский П., Юкнис Р., Бразайтите А., Жукаускайте И. Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров // Физиология растений. 2003. Т. 50, № 2. С. 165–173.
4. Аренте Г.В., Лайнис Ю.Я. Изучение действия ионизирующей радиации на содержание витамина С в растениях с различным обменом веществ // Теоретические и практические вопросы рационального использования животных и растений. Рига, 1993. С. 5–7.
5. Шорнинг Б.Ю., Полещук С.В., Горбатенко И.Ю., Ванюшин Б.Ф. Действие антиоксидантов на рост и развитие растений // Известия РАН. Сер. биол. 1999. № 1. С. 30–38.
6. Загоскина Н.В. Полифенолы и их роль в защите растений от действия стрессовых факторов // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования : материалы VI Междунар. симпозиума, 13–17 июня 2005 г., Пущино. М. : Изд-во РУДН, 2005. Т. 3. С. 300–302.
7. Кулагин А.А. Эколого-физиологические особенности тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях загрязнения окружающей среды металлами : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти : Ин-т экологии Волжского бассейна РАН, 2002. 24 с.
8. Седых В.Н., Игнатьев Л.А. Реакция культур кедра и пихты на воздействие отходов бурения нефтяных скважин // Сибирский экологический журнал. 2001. Ч. I: Ближние последствия. № 3. С. 349–354.
9. Седых В.Н., Игнатьев Л.А. Реакция культур кедра и пихты на воздействие отходов бурения нефтяных скважин // Сибирский экологический журнал. 2001. Ч. II: Дальние последствия. № 3. С. 355–360.

10. Стржалка К., Костецка-Гугала А., Латовски Д. Каротиноиды растений и стрессовое воздействие окружающей среды: роль модуляции физических свойств мембран каротиноидами // Физиология растений. 2003. Т. 50, № 2. С. 188–193.
11. Цыпленков В.П., Федоров А.С., Банкина Т.А., Федорова Н.Н. Определение химического состава растительных материалов. СПб. : Изд-во СПб. ун-та, 1997. 152 с.
12. Шепелев А.И., Шепелева Л.Ф., Фролов В.Н., Мазитов Р.Г. К методологии экологического мониторинга нефтезагрязненных земель таежной зоны Западной Сибири // Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли : сб. материалов науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2005», 25–29 апреля 2005 г., Новосибирск. Новосибирск : СГГА, 2005. Т. 5. С. 129–133.
13. Шепелева Л.Ф., Тарусина Е.А., Шепелев А.И., Фролов В.Н. Восстановление растительного покрова нефтезагрязненных земель Среднего Приобья после рекультивации // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 299. С. 222–227.
14. Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений: практикум. Калининград : Изд-во Калининград. гос. ун-та, 2000. 59 с.
15. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков А.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М. : Гос. изд-во сельскохоз. лит-ры, 1956. 472 с.
16. Шепелев А.И. Реакции почв поймы Оби на нефтесолевое загрязнение (Динамика состава и свойств почв, промежуточные результаты) // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове : материалы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Томск, 2010. Т. 2. С. 235–238.
17. Чупахина Г.Н. Система аскорбиновой кислоты. Калининград : Изд-во Калининград. гос. ун-та, 1997. 130 с.
18. Шепелева Л.Ф., Филимонова М.В. Биохимия растительного сырья в условиях техногенных ландшафтов ХМАО: синтез низкомолекулярных антиоксидантов и накопление микроэлементов. Томск : ТМЛ-Пресс, 2008. 118 с.
19. Мазунина Л.Е. Анатомо-морфологические особенности растений при нефтяном загрязнении как индикатор состояния почв // Экологическая и промышленная безопасность в ХМАО–Югре : сб. науч. тр. Нижневартовск : Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2010. С. 97–106.
20. Шепелева Л.Ф., Фролов В.Н., Лобиков А.А. Анализ видового состава растительных сообществ нефтезагрязненных участков территории Нефтеюганского района ХМАО // Сборник материалов VII Всероссийского популяционного семинара «Методы популяционной биологии». Сыктывкар, 2004. Ч. 1. С. 178–179.
21. Кравченко И.В., Крышмару Н.С. Биохимические показатели растений в условиях нефтяного загрязнения // Современные проблемы биологических исследований в Западной Сибири и на сопредельных территориях : материалы Всерос. науч. конф., посвящ. 15-летию биол. ф-та Сургут. гос. ун-та. Сургут : Таймер, 2011. С. 200–204.
22. Шепелева Л.Ф., Крышмару Н.С., Кравченко И.В. Содержание фотосинтетических пигментов, флавоноидов и нефтепродуктов в растениях нефтезагрязнённых территорий : сб. науч. тр. биолог. ф-та. Сургут : Сургут. гос. ун-т, 2011. Вып. 8. С. 12–24.

Поступила в редакцию 15.06.2012 г.

doi: 10.17223/19988591/19/8

Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 3 (19). P. 110–121

Inessa V. Kravchenko¹, Ljudmila F. Shepeleva², Marina V. Filimonova¹, Lev V. Ganushkin¹¹Scientific Research Institute for Nature and Environment of the North of Surgut State University, Khanty-Mansiiskiy Autonomous Area-Ugra, Russia²Surgut State University, Khanty-Mansiiskiy Autonomous Area-Ugra, Russia**DISTRIBUTION OF ASCORBATE SYSTEM ACIDS IN PLANTS GROWING ON THE OIL POLLUTED SITES OF THE SURGUT AREA**

The results of ascorbic acid form quantitative content in *Artemisia vulgaris* L., *Phragmites australis* Trin. Ex Steud., *Juncus alpino-articulatus* Chaix. and *Chamerion angustifolium* L. growing on polluted sites are presented in this article. For solving this problem the plants were collected on bush grounds and oilfields (Ust-Baliksokom and South-Surgut). The research was conducted on the base of «Vitamins, minerals and Metabolism» Laboratory of Scientific Research Institute for Nature and Environment of the North at Surgut State University, Khanty-Mansiisk Autonomous area-Ugra.

The results showed that the plants growing in oil polluted territories have an increased level of dehydroascorbic and diketogulonic acids content, the reason for this being in a high activity of ascorbatoxidaze. The greatest quantity of ascorbic acid (AA) and ascorbatoxidaze activity was observed in plant levels of *Chamerion angustifolium* that were collected from bush grounds (№279B and №132). In general, the quantitative of dehydroascorbic acid content of bush oilfields ground was higher. The highest level of diketogulonic acids was, obviously, observed in bush oilfield ground № 279B, №110, №132. The control index was over in 16.0, 5.7 and 5.4 times. The plants with an increased diketogulonic acid content show a high ascorbatoxidaze activity. The correlation analysis showed that there is a high positive dependence between the index of diketogulonic acid content and the activity of ascorbatoxidaze ($r=0,9$). *Artemisia vulgaris* plants had a similar but a less marked reaction: the ascorbic acid content of bush ground № 279 exceeded the ascorbic acid content of bush ground № 279B, № 912, №132 in 1.8 time. Bush ground plants had a reduction of ascorbic acid content, it was lower than a control index. *Artemisia vulgaris* plants showed a high positive correlation dependence between the index of dehydroascorbic acid content power; the index of ascorbic acid content and ascorbatoxidaze activity ($r=0,63$). Estimating the correlation "ascorbic acid / dehydroascorbic" between *Chamerion angustifolium* and *Artemisia vulgaris* on oil polluted territories we can observe its reduction in 2 times in both cases in comparison with the control. Consequently, the plants were in a condition of oppression in life activities process. *Chamerion angustifolium* is distinguished by a high sensibility of oilpollution, that is obviously manifested in diketogulonic acids increase. *Chamerion angustifolium* can be used as a biondicator of oil pollution. There is a correlation independence between the index of ascorbic and diketogulonic acids in the plants of oil polluted territories and the activity of askorbatoxidaze, which speaks about an intensive use of ascorbic acids as an answer to a stress factor. Among our studying plants, that grow on oil polluted territories, *Phragmites australis* and *Juncus alpino-articulatus* are the most resistant to oil pollution, they are marked by an intensified synthesis of ascorbic acid and a high level of diketogulonic acid. *Juncus alpino-articulatus* differs by a high content of ascorbic acid in plants that grow on oilpolluted territories which characterises the existence of active ascorbic acid synthesis as an answer to a high pollution level. Analysing the correlation of ascorbat acid /dehydroascorbic *Juncus alpino-articulatus*, *Phragmites australis* and *Chamerion angustifolium*, we can say that adapted abilities of these plants have not been depleted yet as there is an intensive resynthesis of ascorbic acid. Considering the correlation of ascorbat acids system we can see that *Juncus alpino-articulatus* is exposed to less stress in Ust-Baliksok oil field as well as *Phragmites australis* in South-Surgut oilfield because it is these two species that synthesise intensively ascorbic acid at a high level of diketogulonic acid.

Key words: ascorbic acid; degidroaskorbinic acid; askorbatoxidaza; oil pollution; plants.

Received June 15, 2012