

УДК 581.523 + 581.192

^{1,2}Д.Ю. Корулькин, ^{1,2}Р.А. Музычкина,
¹Н.М. Мухитдинов, ¹Н.В. Курбатова*, ¹К.Т. Абидкулова

¹ДГП НИИ проблем биологии и биотехнологии
РГП Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы
²ДГП Центр физико-химических методов исследования и анализа
РГП Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы
*E-mail: kurbatova_nv77@mail.ru

**Экологическое воздействие промышленных выбросов
на химический состав, состояние
и структуру популяций видов *Sedum L.*, произрастающих
в г. Алматы**

В статье приводятся экспериментальные результаты авторов по исследованию влияния различных техногенных газообразных выбросов промышленных предприятий г. Алматы на биологические и химические особенности одного из широко используемых в озеленении мегаполиса растений – очитка едкого (*Sedum acre L.*) семейства *Crassulaceae*. В исследовании определены наиболее надежные в фитоэкологическом мониторинге, основные морфометрические маркеры, пригодные для определения уровня кислотных газов и полиметаллической пыли в воздушном бассейне. Проведен качественный и количественный фитохимический анализ на содержание основных групп биологически активных веществ видов *Sedum acre L.* в зависимости от степени удаленности от промышленных предприятий, имеющих недостаточно эффективную систему очистки газообразных выбросов. Экспериментально обоснованы практические рекомендации о целесообразности использования изучаемого растения в озеленении города, а также о возможности его использовании в биомедицинских целях.

Ключевые слова: фитоэкосистема, *Sedum acre L.*, фитохимический состав, биологически активные вещества.

R.A. Muzychkina, D.Yu. Korulkin, N.M. Muchitdinov,
N.V. Kurbatova, K.T. Abidkulova

**Ecological impact of industrial emissions on chemical composition, present state
and structure of population of *Sedum L.* genus in Almaty city region**

Results of studying of influence of various gaseous emissions of the industrial enterprises on morphometric and phytochemical characteristics of plants are given in article. The comparative analysis of qualitative and quantitative composition of flavonoids, tannins, coumarins, anthraquinones, alkaloids, terpenoids, polysaccharides and aminoacids, depending on remoteness degree from sources of ecological impact is for the first time presented. Inexpediency of use of a *Sedum acre L.* for gardening of the city is proved, and practical recommendations of its use in the biomedical purposes are presented.

Key words: phytoecosystem, *Sedum acre L.*, morphometrical parameters, phytochemical composition.

Р.А. Музычкина, Д.Ю. Корулькин, Н.М. Мухитдинов,
Н.В. Курбатова, К.Т. Абидкулова

**Алматы қаласында өсетін *Sedum L.* түрлері популяциясының химиялық құрамына,
жағдайына және құрылысына өндірістік қалдықтарының экологиялық әсері**

Алматы қаласындағы өндірістің әртүрлі газ тәрізді техногендік қалдықтарының қаланы көгалдандыруда пайдаланылатын *Crassulaceae D.C.* тұқымдасы өкілі *Sedum acre L.* өсімдігінің биоло-

гиялық және химиялық ерекшеліктеріне әсерін зерттеу тәжірибелерінің нәтижелері келтірілген. Зерттеуде фитоэкологиялық мониторингінде сенімді негізгі морфометриялық маркерлері анықталған. Ол морфометриялық маркерлер ауадағы полиметалдық шаңдарды және қышқылды газдардың мөлшерін анықтауға жарамды. Газ тәрізді қалдықтарды тазалауға тиімділігі жеткіліксіз жүйесі бар өндіріс орнының қашықтығына байланысты *Sedum acre* өсімдігінің биологиялық белсенді заттарының негізгі топтарының құрамына сапалық және сандық фитохимиялық талдау жүргізілген. Тәжірибе негізінде зерттелген өсімдіктің қаланы көгалдандыруға пайдаланудың тиімділігі дәлелденген. Оған қосымша ол өсімдіктің биомедицинада пайдалану мүмкіншіліктері қарастырылған.

Түйін сөздер: фитоэкология, *Sedum acre* L. фитохимиялық құрамы, биологиялық белсенді заттар.

Введение

Воздействие повышенных концентраций газообразных промышленных выбросов на различные компоненты фитоэкосистем – актуальная и в настоящее время недостаточно изученная область исследований, обладающая очевидным практическим потенциалом в целенаправленном озеленении города, а также в фитопланировке муниципальных и городских садово-парковых зон.

Растения считаются надежными индикаторами загрязнения природной среды различными токсическими веществами в связи с тем, что они не могут уйти от стрессового воздействия и вынуждены адаптироваться к нему с помощью физиолого-биохимических и анатомо-морфологических перестроек организма. Фиксация и оценка этих изменений дают достоверную картину условий места произрастания растений и отражают состояние городской среды.

Травянистые растения, наряду с деревьями, являющимися более крупными представителями городских фитоэкосистем, используются, главным образом, для озеленения газонов и клумб, выполняя функции аэроочистки воздушного бассейна города от токсичных газообразных компонентов и, в частности, ко-фактора катаболизма углекислого газа и микроэлементов, что жизненно важно для любого мегаполиса.

Основными элементами оценки структурного фитоценоза являются параметры, определяющие интенсивность авторегулирования биохимических процессов в растении, характеризующие ценоз и влияние абиогенных факторов (CO₂, концентрация азота, температура). Увеличение поверхности ассимиляции, числа побегов и общей массы растения значительно меняет компонентный состав и количественное содержание основных групп биологически активных веществ растения, что, в свою очередь, является одной из главных причин нарушения естественных (для данного вида) путей биосинтеза. В то же время произрастание растений в

условиях постоянного фитоэкологического стресса, при загрязнении воздушного бассейна окислами серы и азота, полиметаллической пылью, содержащей значительные количества тяжелых металлов, также играет важную роль в отклонениях от нормального биогенетического цикла растения.

Все вышеуказанные факторы меняют анатомо-морфологические особенности и фитохимический состав растений, вызывая соответствующие изменения структуры и функций популяций видов, к которым они принадлежат. Такое явление экологического отклика растения на неблагоприятные условия окружающей среды, его фитоадаптацию, на формирование фитоценоза доказано в любой точке онтогенеза [1, 2]. Высокий уровень техногенных токсичных газов, выделяемых промышленными и коммерческими предприятиями, также может существенно замедлить рост и развитие растений.

Кроме того, немаловажным фактором, определяющим необходимость и актуальность изучения культивируемых видов городских растений, является их широкое использование населением в народной медицине и гомеопатии.

В частности, широко культивируемый вид *Sedum acre* L. в фазу цветения используется в гомеопатической практике в качестве гипотензивного средства. Очиток едкий также применяется также для лечения эпилепсии, ожогов, при болезненном геморрое, болезнях печени, воспалениях верхних дыхательных путей, он является эффективным средством для лечения рака кожи [3].

Известно также, что настой и сок травы *Sedum acre* L. ускоряют свертывание крови, стимулируют работу сердца, применяются в качестве средства для лечения нефритов, падучей, лихорадки. Предварительные фармакологические исследования растения показали, что настой и сок травы ускоряют свертывание крови, сужают сосуды и стимулируют работу сердца. В опытах *in vitro* показано, что водные, хлороформные и спиртовые экстракты из наземной части *Sedum acre* L. подавляют развитие *Escherichia coli*. В

народной медицине *Sedum acre* L. употребляется также при лечении бородавок, гнойных ран, малокровии и эпилепсии [4].

Впервые в представленной статье нами были проанализированы основные морфометрические и фитохимические характеристики очитка едкого, произрастающего на территории г. Алматы, в зависимости от территориальной близости к источнику экохимического загрязнения, сделаны практические выводы о перспективах использования указанного вида в озеленении города, а также о возможности его использовании в биомедицинских целях.

Материалы и методы

Объектом исследования была надземная часть дикорастущего и культивируемого многолетнего растения *Sedum acre* L. (очиток едкий) семейства *Crassulaceae*. Общая площадь культивируемых зон этого растения в г. Алматы по состоянию на июнь 2014 г. оценивается приблизительно в 16.5 га.

Поскольку основными источниками аэро-экохимического загрязнения воздушного бассейна г. Алматы, помимо автотранспорта, являются 2 предприятия ТЭК города – ТЭЦ 1 и ТЭЦ 2, наблюдение за состоянием и структурой популяций видов *Sedum acre* L., изменениями в количественном составе основных групп биологически активных веществ растения, осуществлялось на различном удалении от этих предприятий (1-5 км).

В качестве основных фитоморфологических маркеров использовались средняя всхожесть в % к площади высадки растения, средняя высота растений в см, число растений на м², площадь листа в мм² и средняя масса погибших растений в г/м² [5].

Для проведения фитохимического анализа растительного сырья образцы заготовленных растений высушивали, измельчали до размера частиц 3-7 мм и использовали для экстракции индивидуальными и смешанными экстрагентами.

Качественный состав растений и фракций определяли методами хроматографии на бумаге с использованием специфических реакций на основные группы природных соединений. Количественное определение обнаруженных групп природных соединений проводили по методикам Государственной фармакопеи и разработанной авторами методологии фитохимического анализа [6-9].

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ литературы о стандарте анатомо-морфологического строения очитка едкого показал, что он является многолетним растением. Голое растение с тонко-шнуровидным, ползучим и ветвистым корневищем; стебли многочисленные, восходящие или лежачие, мясистые; цветonoсные побеги 4-15 см высотой, приподнимающиеся, бесплодные – 1-3 см высотой, часто лежачие; листья мясистые, яйцевидные, тупые, выпуклые на спинке, при основании утолщенные, с округлой горбинкой, 2-5 мм длиной, 2-3.5 мм шириной, на бесплодных побегах черепичато-расположенные в 5-6 рядов, на цветonoсных более расставленные. Соцветия из 3-5 колосообразных ветвей, расположенных полужонтиком, раскидистое или сжатое, с почти сидячими цветками; цветки пятичленные; чашелистики 2-3 мм длиной, продолговато-яйцевидные, сизо-зеленые или желтоватые, до основания свободные; внешние в два-три раза длиннее чашечки, с золотисто-желтыми, ланцетовидными или линейно-ланцетными, острыми лепестками, 4.5 мм длиной, 1.5-2 мм шириной; тычинки в числе 10, немного короче лепестков; подпестичные чешуйки с шириной, превышающей длину, или почти квадратные, около 0.5 мм в длину и ширину; листовки бледно-зеленые или беловатые, 3.5-4.5 мм в длину, ланцетные, звездчато-расходящиеся, с коротким, прямым носиком.

В результате комплексного исследования влияния алматинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 на различные компоненты фитоэкосистем на примере выбранного объекта была предложена следующая зональная классификация.

Зоны фитоэкологического мониторинга были классифицированы как безопасная зона (4-5 км от ТЭЦ), зона частичного разрушения (2-3 км от ТЭЦ) и зона полного разрушения фитоэкосистем (менее 1 км от ТЭЦ). Результаты морфометрической диагностики видов *Sedum acre* L. по степени удаленности от алматинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 по указанным зонам приведены в таблице 1.

Из данных таблицы 1 видно, что морфометрические параметры исследованных популяций *Sedum* на различном расстоянии от источников атмосферного загрязнения показали значительную разницу в некоторых из них, например, средняя всхожесть в % к площади высадки видов *Sedum* на территориях, смежных с ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 (менее 1 км), как было установлено, бы-

ла 1.9-2.0 раза ниже, чем для более отдаленных зон. Средняя высота растений в см и продуктивность надземной фитомассы уменьшались каждая больше, чем в 2 раза, по мере приближения в предприятия-источникам загрязнения.

Подобные же значительные изменения в наборе морфологических характеристик показали и длина боковых побегов растения, и средняя площадь листа в мм². Вблизи ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 был зафиксирован значительно повышенный уровень погибших растений, что может быть следствием различной реакции отдельных

представителей исследуемой группы растений на увеличение концентраций токсинов, в то время как частичное выживание отдельных растений может быть объяснено как их повышенной конкурентоспособностью, так и экоадаптацией видов, определяющей компенсационный биохимический отклик на внешнее антропогенное напряжение [10, 11]. В наиболее близких к источникам атмосферного загрязнения зонах зачастую наблюдается столь значительный уровень поражения растений, что диагностика морфометрических параметров затруднена.

Таблица 1 – Морфометрические характеристики структуры популяций *Sedum acre* L. по зонам фитоэкологического мониторинга вблизи ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 г. Алматы

Параметр	ТЭЦ-1			ТЭЦ-2		
	5 км	3 км	1 км	5 км	3 км	1 км
Средняя всхожесть в % к площади высадки	83.3±2.4	70.1±4.0	41.5±2.1	84.1±2.7	70.7±3.8	43.6±2.4
Средняя высота растений в см	15.6±0.4	12.8±0.5	9.7±0.5	14.8±0.4	12.1±0.6	9.3±0.4
Число растений на м ²	185±19	229±37	89±16	197±21	244±31	96±13
Площадь листа, мм ²	45.5±1.9	35.6±2.5	33.3±1.9	48,2±2,3	37.5±2.5	34.1±2.1
Средняя масса погибших растений в г/м ²	0.3±0.1	12.2±2.6	15.3±2.9	0,3±0,1	11.9±2.2	14.5±2.5

Столь значительное изменение в состоянии и структуре популяций *Sedum acre* L., особенно в зонах высокого антропогенного напряжения, приводит к изменению фитохимического состава произрастающих видов.

Фитохимическое исследование образцов отитка гибридного из различных зон антропогенного воздействия проводилось с использованием 30%-ых водно-спиртовых извлечений капельным и хроматографическим методами в присутствии аутентичных образцов, а также количественным анализом идентифицированных групп БАВ (таблица 2) [6-9].

Помимо общего количества и уменьшения количества извлекаемых компонентов, исследование показало значительные изменения в качественном составе компонентов каждой из упомянутых структурных групп растительных биологически активных веществ. Полученные экспериментальные данные были сравнены с описанными в литературе данными фитохимического анализа аналогов, произрастающих в других географических зонах, а также с нашими ранними результатами исследований [12-15]. Сравнительный анализ данных показал, что в

зоне полного разрушения фитоэкосистем (менее 1 км от ТЭЦ) значительно (не менее чем в 1.4-1.7 раз) повышено содержание тяжелых металлов в надземной части растений (в таблице 2 – зола, не растворимая в 10% кислоте хлороводородной), что является явным следствием недостаточного контроля к содержанию полиметаллической пыли в газообразных выбросах указанных предприятий. Результаты процессов деструктивного окисления, прослеживаемые в биогенетическом цикле растений (в таблице 2 – повышение содержания окисленных форм БАВ – флавоноидов, кумаринов), являются следствием повышенного содержания окислов азота и серы в воздухе. Также среди флавоноидных компонентов отитка едко отмечено повышенное в сравнении с аналогичными видами из экологически благоприятных зон количество триоксизамещенных по кольцу В структур, а также веществ, характеризующихся частичной деструкцией кольца С в обоих типах БАВ. Кроме того, значительное уменьшение содержания полисахаридов в исследуемых образцах, очевидно, является следствием их частичной кислотной деструкции.

Таблица 2 – Фитохимический анализ *Sedum acre* L.

по зонам экологического мониторинга вблизи ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 г. Алматы (в %, в пересчете на абсолютно сухое сырье)

Параметр	ТЭЦ-1			ТЭЦ-2		
	5 км	3 км	1 км	5 км	3 км	1 км
Зола общая	11.3	12.6	16.4	11.5	12.3	15.8
Зола не растворимая в 10% HCl	4.6	4.9	6.4	4.4	4.7	5.8
Флавоноиды	2.4	2.3	2.0	2.4	2.4	2.1
Дубильные вещества	12.8	12.7	12.7	12.9	12.9	12.8
Кумарины	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.4
Тритерпеноиды	6.1	6.1	6.0	6.1	6.0	6.0
Полисахариды	8.7	8.4	7.4	8.7	8.5	7.3
Антрахиноны	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	следы
Алкалоиды	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
Аминокислоты	1.7	1.6	1.4	1.7	1.7	1.5

Заключение

Впервые на примере широко используемого в декоративных целях культивируемого вида *Sedum acre* L. семейства *Crassulaceae* показано влияние неконтролируемых выбросов кислотных газов и полиметаллической пыли производственных предприятий топливно-энергетического комплекса г. Алматы (ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2) на изменения в химическом составе растений, на состояние и структуру популяций растений, в зависимости от близости к предприятиям-источникам загрязнения воздушного бассейна.

Экспериментально доказанные значительные изменения морфометрических характеристик структуры популяций *Sedum acre* L., особенно в зоне полного разрушения фитоэкосистем (менее 1 км от ТЭЦ) не позволяет рекомендовать этот вид для направленного озеленения территории, ввиду его не высокой адаптивности к основным техногенным токсинам промышленных предприятий города.

Результаты сравнительного фитохимического анализа образцов травы отитка едкого, про-

веденного для растений тех же зон фитоэкологического мониторинга, свидетельствуют о том, что ограничение на сбор и использование видов указанного растения в гомеопатической практике и народной медицине может распространяться только на растения, собранные в непосредственной близости от промышленных предприятий (до 1 км). Количество тяжелых металлов в траве изучаемого вида на расстоянии более 1 км уже не превышает рекомендованных ВОЗ предельно-допустимых значений по каждому из компонентов, а повышение содержания основных групп БАВ (флавоноидов, дубильных веществ, кумаринов, антрахинонов, алкалоидов и терпеноидов) способствует повышению его эффективности при использовании в медицинских целях.

Полученные эколого-фитохимические и морфометрические данные по составу и структуре популяций *Sedum acre* L. позволяют дополнить результаты комплексного ресурсоисследовательского исследования казахстанских видов растений рода *Sedum* L. с целью введения их видов в Государственную фармакопею Республики Казахстан.

Литература

- 1 Cassells A.C. Oxidative stress and physiological, epigenetic and genetic variability in plant tissue culture: implications for micro propagators and genetic engineers // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. – 2001. – Vol. 64. – N.2. – P.145-157.
- 2 Chapman K.D. Phospholipase activity during plant growth and development and in response to environmental stress // *Trends in Plant Science*. – 1998. – Vol. – 3. – N. 11. – P. 419-426.
- 3 Петков В. Современная фитотерапия. – София: Медицина и физкультура, 1998. – 542 с.
- 4 Муравьева Д.А., Самылина И.А., Яковлев Г.П. Фармакогнозия. – М.: Медицина, 2002. – 656 с.
- 5 Культиасов И.М. Методы оценки биомассы и продуктивности растений. – М.: МГУ, 1999. – 226 с.
- 6 Государственная фармакопея Республики Казахстан. – Т.1. – Алматы: Жибек жолы, 2008. – 592 с.

- 7 Музычкина Р.А., Корулькин Д.Ю. Биологически активные вещества растений. Выделение, разделение, анализ. – Алматы: Атамұра, 2006. – 438 с.
- 8 Мамонов Л.К., Музычкина Р.А. Введение в фитохимические исследования и выявление биологической активности веществ растений. – Алматы: Школа XXI века, 2008. – 216 с.
- 9 Музычкина Р.А., Корулькин Д.Ю. Методология исследования растительных метаболитов. – Алматы: MV-Print, 2012. – 324 с.
- 10 Grandbastien M.A. Activation of plant retrotransposons under stress conditions // Trends in Plant Science. – 1998. – Vol. 3. – N. 5. – P. 181-187.
- 11 Hare P.D., Cress W.A. The involvement of cytokinins in plant responses to environmental stress // Plant Growth Regulation. – 1997. – Vol.23. – N.1. – P. 79-103.
- 12 Stevens J.F., Hart H., Eitema E.T. Flavonoid variation in Eurasian sedum and sempervivum// Phytochemistry. – 1996. – Vol. 41. – N. 2. – P. 503-512.
- 13 Hart H.T, Stevens J.F., Jeong H.K. Alkaloids of some Asian sedum species // Phytochemistry. – 1996. – Vol. 41. – N. 5. – P. 1319-1324.
- 14 Корулькин Д.Ю. Исследование химического состава растений семейства Crassulaceae: автореф. ... докт. хим. наук: 02.00.10. – Алматы: КазНУ, 2006. – 51 с.
- 15 Korulkin D.Yu. Chemical Composition of Certain Sedum Species of Kazakhstan // Chemistry of Natural Compounds. – 2001. – Vol.37. – N.3. – P. 219-223.

References

- 1 Cassells A.C. Oxidative stress and physiological, epigenetic and genetic variability in plant tissue culture: implications for micro propagators and genetic engineers // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 2001. – Vol. 64. – N.2. – P.145-157.
- 2 Chapman K.D. Phospholipase activity during plant growth and development and in response to environmental stress // Trends in Plant Science. – 1998. – Vol. – 3. – N. 11. – P. 419-426.
- 3 Petkov V. Sovremennaja fitoterapija. – Sofija: Medicina i fizkul'tura, 1998. – 542 s.
- 4 Мырпав'ева Д.А., Камылина И.А., Яковлев Г.П. Фармакогнозия. – М.: Медицина, 2002. – 656 с.
- 5 Kul'tiasov I.M. Metody ocenki biomassy i produktivnosti rastenij. – М.: МГУ, 1999. – 226 с.
- 6 Gosudarstvennaja farmakopeja Respubliki Kazahstan. – T.I. – Almaty: Zhibek zholy, 2008. – 592 s.
- 7 Muzychkina R.A., Korul'kin D.Ju. Biologicheski aktivnye veshhestva rastenij. Vydelenie, razdelenie, analiz. – Almaty: Atamұra, 2006. – 438 s.
- 8 Mamonov L.K., Muzychkina R.A. Vvedenie v fitohimicheskie issledovaniya i vyjavlenie biologicheskoy aktivnosti veshhestv rastenij. – Almaty: Shkola XXI veka, 2008. – 216 s.
- 9 Muzychkina R.A., Korul'kin D.Ju. Metodologija issledovaniya rastitel'nyh metabolitov. – Almaty: MV-Print, 2012. – 324 s.
- 10 Grandbastien M.A. Activation of plant retrotransposons under stress conditions // Trends in Plant Science. – 1998. – Vol. 3. – N. 5. – P. 181-187.
- 11 Hare P.D., Cress W.A. The involvement of cytokinins in plant responses to environmental stress // Plant Growth Regulation. – 1997. – Vol.23. – N.1. – P. 79-103.
- 12 Stevens J.F., Hart H., Eitema E.T. Flavonoid variation in Eurasian sedum and sempervivum// Phytochemistry. – 1996. – Vol. 41. – N. 2. – P. 503-512.
- 13 Hart H.T, Stevens J.F., Jeong H.K. Alkaloids of some Asian sedum species // Phytochemistry. – 1996. – Vol. 41. – N. 5. – P. 1319-1324.
- 14 Korul'kin D.Ju. Issledovanie himicheskogo sostava rastenij semejstva Crassulaceae: avtoref. ... dokt. him. nauk: 02.00.10. – Almaty: KazNU, 2006. – 51 s.
- 15 Korulkin D.Yu. Chemical Composition of Certain Sedum Species of Kazakhstan // Chemistry of Natural Compounds. – 2001. – Vol.37. – N.3. – P. 219-223.