

10. Arekhi S. Modeling spatial pattern of deforestation using GIS and logistic regression: a case study of northern Ilam forests, Ilam province, Iran // *African Journal of Biotechnology*. – 2011. – Vol. 10 (72). – P. 16236-16249.
11. Schmitt Olabisi L. The System Dynamics of Forest Cover in the Developing World: Researcher vs. Community Perspectives // *Sustainability*. – 2010. – Vol. 2. – P. 1523-1535.
12. Becek K., Odihi J.O. Identification and Assessment of Factors Affecting Forest Depletion in Brunei Darussalam // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B2. Beijing 2008.
13. What are the major causes of deforestation? (<http://www.preservearticles.com/2012021623379/what-are-the-major-causes-of-deforestation.html> (11.10.2015)).
14. Gorsevski P.V., Gessler P.E., Boll J., Elliot W.J., Foltz R.B. Spatially and temporally distributed modeling of landslide susceptibility // *Geomorphology*. – 2006. – Vol. 80. – P. 178-198.
15. Ren D., Leslie L.M., Duan Q. Chapter 6. Landslides Caused Deforestation // In: *Deforestation around the World*. Paulo Moutinho (Ed.), InTech Publ. 2012.
16. Dixon M.D. Landslide Computer Modeling Potential. (<http://fs.fed.us/t-d/pubs/pdfpubs/pdf03713804/pdf03713804dpi72.pdf>).
17. Meusbürger K., Alewell C. Impacts of anthropogenic and environmental factors on the occurrence of shallow landslides in an alpine catchment (Urseren Valley, Switzerland) // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* – 2008. – Vol. 8. – P. 509-520.
18. Nikolaishvili D., Dvalashvili G. Anthropogenic Changes of Caucasus Forest Landscapes // *Earth Sciences*. – 2015. – Vol. 4 (5-1). – P. 54-59.
19. Hajiyeva A. Risks and Threats Emerging Due to Anthropogenic Transformations on the South-Eastern Slope of the Greater Caucasus // *Journal of Agriculture and Life Sciences*. – 2015. – Vol. 2 (1). – P. 173-180.



УДК 574.21:575.224:576.353

Н.Н. Чернышева, Л.П. Хлебова, Р.Д. Пронина  
N.N. Chernysheva, L.P. Khlebova, R.D. Pronina

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕСТ-СИСТЕМЫ *ALLIUM CEPA* L.  
ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ВОДЫ Р. ЧУМЫШ**

**THE USE OF THE ALLIUM TEST FOR GENOTOXICITY EVALUATION  
OF THE CHUMYSH RIVER WATER**

**Ключевые слова:** генотоксичность, *Allium*-тест, корневая меристема, митотический индекс, патологии митоза, хромосомные aberrации, река Чумыш.

Исследована токсическая и мутагенная активность воды реки Чумыш в районе населенного пункта Тальменка (Алтайский край). В качестве биологической тест-системы использован лук репчатый *Allium cepa* L. Контролем служила очищенная водопроводная вода. Оценены митотическая активность, частота патологического митоза, типы хромосомных aberrаций в корневой меристеме тест-объекта. Установлено, что уровень митотической активности клеток лука репчатого, а также частота хромосомных aberrаций (до 7,9%) свидетельствуют о наличии в воде р. Чумыш веществ митомодифицирующего и генотоксического действия. Основными нарушениями являются отставания хромосом в мета- и анафазах, хромосомные мосты, фрагменты и микроядра. Их средний уровень в 5,0-10,8 раз превысил контрольное значение. Установлена неоднородность временного и пространственного распределения характеристик генотоксичности в пределах одного створа. Максимальный уровень митотической депрессии и частоты хромосомных мутаций наблюдали в тканях

тест-объекта на пробах осенней межени. Выявлен разнонаправленный характер митотической активности меристемы лука репчатого при воздействии компонентов речной воды весеннего и осеннего периодов. Весной наблюдали стимуляцию клеточного деления и повышение мета- и анафазных индексов, а осенью, напротив, депрессию митотической активности и повышение профазного индекса. Это свидетельствует о разнообразии механизмов адаптации растительных организмов к меняющимся условиям окружающей среды. В одном случае происходит увеличение интенсивности клеточного деления, компенсирующего повреждения количеством вновь образовавшихся клеток, в другом – активация систем репарации, направленных на исправление имеющихся нарушений.

**Keywords:** genotoxicity, *Allium* test, root meristem, mitotic index, pathologic mitosis, chromosome aberrations, Chumysh River.

The toxic and mutagenic activity of the Chumysh River water near Talmenka (Altai Region) was studied by means of cytogenetic analysis. Bulb onion (*Allium cepa* L.) was used as a biological test system. Purified tap water was used as the control. The mitotic activity, pathologic mitosis occurrence and

the types of chromosomal aberrations in root meristem of the test object were evaluated. The level of mitotic activity in bulb onion cells and the frequency of chromosomal aberrations (up to 7.9%,  $p < 0.05$ ) revealed the presence of the substances with mitotoxic and genotoxic effects in the Chumysh River water. The main disturbances included chromosome lagging in the meta- and anaphases, chromosome bridges, fragments and micronuclei. Their numbers exceeded the control values 5.0-10.8 times. The maximum level of mitotic depression and the frequency of chromosome mutations were observed in the tissues of the test object in the autumn low water samples. Oppositely directed patterns in meri-

stem mitotic activity under the influence of the river water components in the spring and autumn periods were found. The stimulation of cell division and increasing meta- and anaphase indexes were revealed in the spring water samples, and the depression of mitotic activity and increased prophase index were found in the autumn water samples. This demonstrates the diversity of plant adaptation to changing environmental conditions. In one case, there is an increase in the intensity of cell division which compensates the damages by the amount of newly-formed cells, and the other case is the activation of repair systems aimed at the correction of existing disturbances.

**Чернышева Наталья Николаевна**, д.с.-х.н., проф. каф. плодоовощеводства, технологии хранения и переработки продукции растениеводства, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-67. E-mail: nnchernisheva@mail.ru.

**Хлебова Любовь Петровна**, к.б.н., доцент каф. экологии, биохимии и биотехнологии, Алтайский государственный университет. Тел.: (3852) 36-76-00. E-mail: hlebova61@mail.ru.

**Пронина Рита Дмитриевна**, магистрант, Алтайский государственный университет. Тел.: (3852) 36-76-00. E-mail: margoscha20002013@mail.ru.

**Chernysheva Natalya Nikolayevna**, Dr. Agr. Sci., Prof., Chair of Fruit and Vegetable Growing, Crop Storage and Processing Technology, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-67. E-mail: nnchernisheva@mail.ru.

**Khlebova Lyubov Petrovna**, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Chair of Ecology, Biochemistry, Altai State University. Ph.: (3852) 36-76-00. E-mail: hlebova61@mail.ru.

**Pronina Rita Dmitriyevna**, master's degree student, Altai State University. Ph.: (3852) 36-76-00. E-mail: margoscha20002013@mail.ru.

### Введение

В современных условиях экосистемы, в том числе и водные, подвергаются совместному действию негативных факторов различной природы. Оценка состояния и прогноз опасности комплексного загрязнения природных объектов базируются на результатах биологического мониторинга, использующего тест-реакции живых организмов. Среди растительных тест-систем высокими информативными свойствами на клеточном и генетическом уровне характеризуется *Allium* сера L. Данный объект позволяет регистрировать различные типы хромосомных мутаций, индуцируемых как прямыми мутагенами, непосредственно повреждающими ДНК, так и промутагенами, приобретающими генетическую активность в организме в процессе метаболизма [1]. Установлено, что результаты, полученные с использованием лука репчатого, высоко коррелируют с результатами исследований на клетках млекопитающих, в том числе человека [1, 2].

Водные объекты Алтайского края не являются исключением в общей тенденции ухудшающегося экологического состояния и испытывают значительную антропогенную нагрузку. Большая часть водоемов нашего региона относится по классу качества воды к категориям «очень загрязненных» и «грязных». Согласно ежегодно публикуемым официальным докладам о состоянии окружающей среды, наиболее характерными веществами, загрязняющими поверхностные воды края, являются нефтепродукты, фенолы летучие, соединения

азота, фосфаты, железо общее [3]. Большая часть этих веществ относится к группе ксенобиотиков и может оказывать токсическое, канцерогенное, тератогенное или аллергенное влияние на живые системы.

**Цель работы** – оценить цито- и генотоксические эффекты воздействия на живой организм воды р. Чумыш с помощью *Allium*-теста.

### Материалы и методы

Чумыш является одним из наиболее крупных притоков Верхней Оби. Река берет начало на Салаирском кряже в Кемеровской области, протекает в основном по Бийско-Чумышской возвышенности и в своем среднем и нижнем течении пересекает ряд населенных пунктов Алтайского края, в том числе г. Заринск и р.п. Тальменка. Чумыш относится к восточно-европейскому типу рек, характеризуясь высоким половодьем, низкой летней и зимней меженью и повышенным стоком осенью [4]. Доля снегового питания составляет более половины стока за год, а максимум половодья приходится на апрель [5].

Исследуемый участок р. Чумыш находится в окрестностях населенного пункта р.п. Тальменка в районе автомобильного моста. Исследования были выполнены в 2014 г. Отобрано 10 проб в периоды максимального половодья (28 апреля) и осенней межени (пониженного потенциала самоочищения реки) (10 октября): проба № 1 – правый берег, 1 м от берега, поверхность; проба № 2 – правый берег, 1 м от берега, глубина 1 м;

проба № 3 – середина, поверхность; проба № 4 – левый берег, 4 м от берега, поверхность; проба № 5 – левый берег, 4 м от берега, глубина 1 м.

Для цитогенетического анализа в качестве тест-объекта использовали лук репчатый. Предварительно отобранные стандартные луковички проращивали в течение нескольких дней в стеклянных стаканах, содержащих отобранные пробы речной воды, при температуре 24-25°C. В качестве контроля использовали отстоянную и отфильтрованную водопроводную воду. Через несколько дней проводили фиксацию корешков в ацетоалкоголе по методу Карнуа (1:3). Материал хранили в 70%-ном этиловом спирте при температуре +4°C. Цитологический анализ клеток корневой меристемы проводили на микроскопе AXIO ZEISS Imager.Z1 при увеличении 10x15x90 на временных давленных препаратах после окрашивания ацетоарсеином [1], фотосъемку – с помощью камеры AxioCamMRC5. На каждом препарате учитывали общее количество клеток, количество делящихся клеток, находящихся в той или иной стадии митоза, количество и тип патологических митозов. Всего проанализировано около 25000 клеток, в среднем по 2000 шт. на образец. На основании полученных данных определяли митотический индекс (MI), распределение клеток по стадиям митоза, долю патологических митозов среди общего числа делящихся клеток (ПМ).

Достоверность различий полученных результатов оценивали с помощью критерия Стьюдента. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel 2010.

### Результаты и их обсуждение

Изменение митотической активности меристематических тканей можно рассматривать как интегральный показатель негативного воздействия факторов на организм. Показателем уровня митотической активности служит митотический индекс, отражающий долю делящихся клеток. Он может свидетельствовать о нормальном протекании митоза, угнетении процесса деления клеток или, напротив, усилении их митотической активности. На основании полученных результатов делают вывод о митотоксическом или митостимулирующем действии изучаемого фактора [6]. Результаты тестирования проб речной воды показали ее разнокачественность как в пределах створа, так и в зависимости от времени отбора проб (табл.).

Пробы, отобранные в апреле во время половодья, оказывали стимулирующее воздействие на митотическую активность меристемы корешков лука, превысив примерно на 2-4% контрольное значение. Средний уро-

вень признака составил  $14,15 \pm 0,18\%$ , варьируя от  $12,98 \pm 0,18$  до  $15,14 \pm 0,13\%$ . Минимальный MI наблюдали в пробе № 3 – из середины створа.

Образцы со стороны правого берега реки, взятые как с поверхности, так и глубины в 1 м, обнаружили более выраженный стимулирующий эффект. Стимуляция митотической активности пролиферирующих тканей проявляется, как правило, при слабых стрессовых воздействиях поллютантов либо их синергетическом эффекте, когда значения каждого в отдельности не превышают предельно допустимой концентрации [7]. Аналогичные результаты были получены ранее при изучении генотоксичности воды р. Оби в районе г. Барнаула, а также при оценке экологического состояния поверхностных вод в районе рудника «Веселый» [8, 9].

Реакция тест-объекта, луковички которого проращивали на образцах, отобранных в октябре, оказалась диаметрально противоположной выше описанным событиям. Средний уровень митотической активности снизился почти в 2 раза по сравнению с контрольным значением (табл.). Минимальное угнетение клеточного деления наблюдали в пробе из середины створа реки ( $9,72 \pm 0,08\%$ ). Образцы со стороны левого берега (пробы № 4 и № 5) проявили менее выраженный ингибирующий эффект на частоту клеточной пролиферации в сравнении с пробами правого берега, о чем свидетельствуют более высокие значения MI. Депрессивный характер митотической активности клеток указывает на наличие в воде р. Чумыш в осенний период веществ митотоксического действия.

Фазные индексы позволяют судить об относительной длительности отдельных стадий клеточного деления. Распределение клеток по фазам митоза также различалось в зависимости от времени отбора материала. Меристематические клетки корешков лука репчатого на пробах, отобранных в период весеннего половодья, обнаружили задержку на более поздних стадиях, начиная с метафазы, в то время как продолжительность профазы была существенно ниже контроля. Задержка клеток на стадии метафазы в опытных образцах может свидетельствовать о нарушениях формирования веретена деления, а на стадиях анафазы-телофазы – о нарушении формирования клеточной стенки [10].

Исследование проб осеннего периода показало, что на фоне снижения митотического индекса тест-объекта происходило возрастание доли профазных клеток, что обусловлено, вероятно, повреждениями надмолекулярной структуры хромосом, препятствующими переходу на последующие стадии митоза. Задержка клеток на стадии профазы также может быть обусловлена активацией системы

checkpoint-проверки целостности генетического материала, приводящего к индукции репарационных процессов как ответной реакции на возникающие повреждения генома [11].

Наряду с явлением неравномерного прохождения клетками отдельных стадий деления наблюдали возрастание патологических митозов в тестируемых пробах речной воды. Средний уровень меристематических клеток с различными нарушениями составил  $4,24 \pm 0,42$  и  $5,63 \pm 0,48\%$  в период весеннего половодья и осеннюю межень, соответственно, превысив контрольное значение в 5,0 и 10,8 раз (рис. 1). Данный факт позволяет констатировать наличие в речной воде факторов с потенциальной мутагенной активностью на период отбора проб. Уровень спонтанного мутирования тест-объекта был достаточно низким, не превысив 1%.

Пробы из середины створа (№ 3) имели существенно менее выраженный негативный эффект на процесс деления, в то время как образцы со стороны правого берега (№ 1 и 2) индуцировали максимум патологий. Наибольшее количество aberrаций наблюдали при исследовании речной воды осеннего периода, что свидетельствует о низком уровне ее самоочищения. Распределение аномалий по фазам мейоза показало, что максимальное количество хромосомных нарушений приходится на стадии мета- либо анафазы.

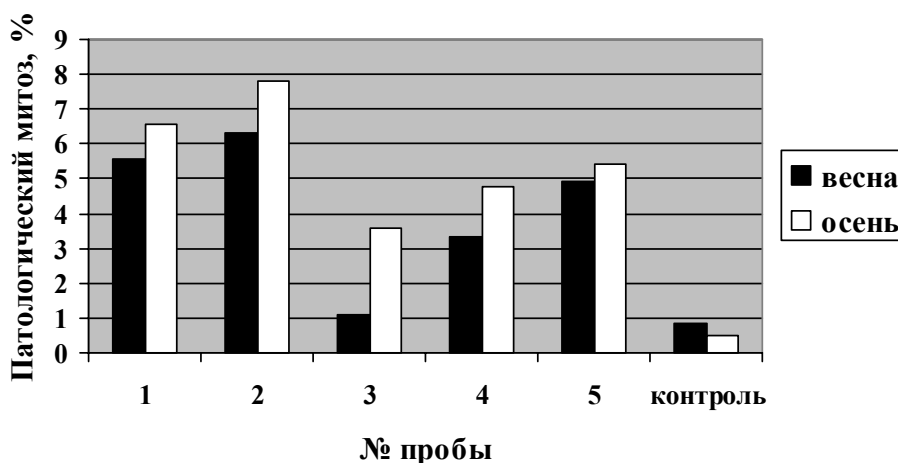
Анализ достаточно широкого спектра патологий выявил, что основными нарушениями являются отставания хромосом в мета- и анафазах, хромосомные мосты, фрагменты и микроядра (рис. 2).

Таблица

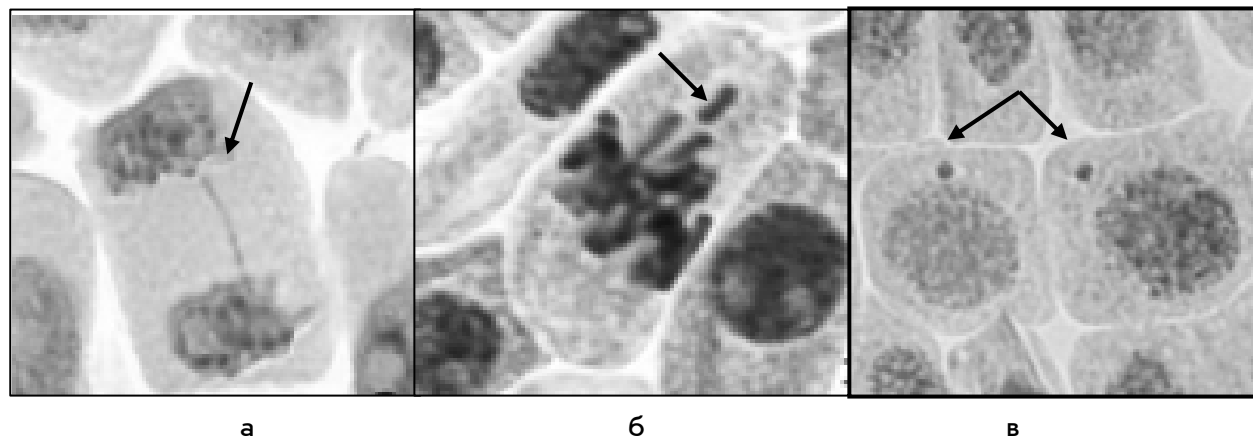
**Митотический режим клеток корневой меристемы *Allium cepa* L.**

Номер пробы	MI, %	Фазный индекс, %			
		профаза, ПИ	метафаза, МИ	анафаза, АИ	телофаза, ТИ
<b>Пробы от 28 апреля 2014 г.</b>					
<b>Контроль</b>	<b>11,72±0,14</b>	<b>68,92±0,41</b>	<b>9,17±0,48</b>	<b>10,83±0,24</b>	<b>12,08±0,24</b>
№ 1	14,51±0,09*	57,78±1,28*	18,23±0,74*	13,33±0,64*	10,66±1,11*
№ 2	15,14±0,13*	56,27±0,57*	18,91±0,99*	15,01±2,57*	9,81±1,56*
№ 3	12,98±0,18*	65,78±3,60*	9,92±0,32	11,97±2,32*	12,33±2,46
№ 4	13,39±0,16*	62,14±1,83*	9,98±0,73	12,48±1,60*	15,40±3,53*
№ 5	14,71±0,11*	61,29±4,03*	8,11±0,52	12,70±0,52*	17,90±3,00*
<b>Среднее</b>	<b>14,15±0,18*</b>	<b>60,64±3,91*</b>	<b>10,63±0,88*</b>	<b>5,03±0,73*</b>	<b>5,15±0,55*</b>
<b>Пробы от 10 октября 2014 г.</b>					
<b>Контроль</b>	<b>12,64±0,09</b>	<b>81,50±0,79</b>	<b>10,23±0,23</b>	<b>6,70±0,39</b>	<b>1,57±0,46</b>
№ 1	4,27±0,14*	92,86±0,69*	5,95±0,69*	1,19±0,00*	0,00±0,00*
№ 2	5,18±0,09*	93,11±0,86*	5,17±0,99*	1,72±0,49*	0,00±0,00*
№ 3	9,72±0,08*	86,74±1,06*	7,65±0,61*	3,57±0,29*	2,04±0,29*
№ 4	5,99±0,04*	94,02±0,85*	4,27±0,85*	0,00±0,00*	1,71±0,49
№ 5	5,64±0,09*	92,23±1,48*	5,83±1,12*	0,97±0,00*	0,97±0,56
<b>Среднее</b>	<b>6,16±0,09*</b>	<b>91,79±0,99*</b>	<b>5,77±0,85*</b>	<b>1,49±0,16*</b>	<b>0,94±0,45*</b>

Примечание. \*Различия с контролем достоверны при  $P \leq 0,05$ .



**Рис. 1. Частота патологических митозов, индуцируемых водой р. Чумыш, в корневой меристеме лука репчатого**



**Рис. 2. Патологии митоза клеток корневой меристемы лука репчатого, индуцируемые водой р. Чумыш:**  
*а – хромосомный мост; б – отставание хромосомы; в – микроядра*

Наличие мостов свидетельствует о том, что пробы содержат вещества, способные вызывать слипание теломерных участков хромосом либо разрывы в ДНК, приводящие к нерцепрокным транслокациям. При асимметричном обмене в результате соединения фрагментов с центромерами образуется дицентрик (хромосома с двумя центромерами), что приводит при расхождении хромосом в анафазе к появлению мостов (рис. 2а).

В некоторых клетках наряду с мостами наблюдались хромосомные фрагменты, отставания и выбросы, которые можно рассматривать как показатели «свежей» хромосомной перестройки [11]. Фрагментация хромосом является признаком разрушения их структуры, связанного с лизированием ферментами молекул ДНК, и служит показателем нестабильности генома. Известно, что в ряде случаев дицентрические хромосомы проходят через митоз в результате цикла «разрыв – слияние – мост» и сохраняются в течение нескольких клеточных поколений. Фрагменты при этом не включаются в формирующиеся дочерние ядра и лизируются ферментами или остаются в цитоплазме клетки в виде микроядер [10].

Отставания хромосом (рис. 2б) возникают при нарушениях как в самой хромосоме, так и в ахроматиновом веретене деления. Микроядра, выявляемые на стадии телофазы, представляли собой небольшие по размеру, хорошо оформленные округлые образования ядерного материала, расположенные в цитоплазме клетки на некотором удалении от основного ядра (рис. 2в). Как уже указывалось выше, они являются результатом отставания хромосом либо их фрагментов на предыдущих стадиях, которые не включаются в дочерние ядра и в дальнейшем, как правило, элиминируются, что приводит к анеуплоидным мутациям. Клетки с микроядрами были отмечены преимущественно у образцов с высокой частотой нарушений.

По данным комплексной лаборатории мониторинга загрязнения окружающей среды ФГБУ «Алтайский ЦГМС», в воде р. Чумыш в течение ряда лет содержание нефтепродуктов и фенолов летучих многократно превышало ПДК [3], что вероятно, явилось одной из причин высокой частоты хромосомных нарушений при делении клеток модельного объекта. Помимо этих веществ в речной воде присутствует ряд других соединений, не превышающих допустимый порог, но представляющих опасность с точки зрения воздействия на генетический аппарат. Кроме того, генотоксический эффект может быть вызван также промутагенами, приобретающими генетическую активность в процессе метаболических реакций в живом организме. Наличие в речной воде факторов, модифицирующих митоз тест-объекта, представляет опасность для здоровья населения, использующего ее в качестве рекреации и на хозяйственные нужды.

**Заключение**

Таким образом, уровень митотической активности клеток корневой меристемы лука репчатого, а также частота хромосомных aberrаций свидетельствуют о наличии в воде р. Чумыш в районе р.п. Тальменка веществ митомодифицирующего и генотоксического действия. Основными нарушениями являются отставания хромосом в мета- и анафазах, хромосомные мосты, фрагменты и микроядра. Установлена неоднородность временного и пространственного распределения характеристик генотоксичности в пределах одного створа. Максимальный уровень митотической депрессии и частоты хромосомных мутаций наблюдали в тканях тест-объекта на пробах осенней межени. Выявлен разнонаправленный характер митотической активности меристем лука репчатого при воздействии компонентов речной воды весеннего и осеннего периода. Это может свидетельствовать о разнообразии механизмов адаптации расти-



тельных организмов к меняющимся условиям окружающей среды. В одном случае это увеличение скорости клеточного деления, компенсирующего повреждения количеством вновь образовавшихся клеток, в другом – активация систем репарации, направленных на исправление имеющихся нарушений.

#### Библиографический список

1. Fiskesjo G. The Allium test as a standard in environmental monitoring // *Hereditas*. – 1985. – Vol. 102 (1). – P. 99-112.
2. Barberio A., Voltolini J.C., Mello M.L. Standardization of bulb and root sample sizes for the Allium cepo test // *Ecotoxicology*. – 2011. – Vol. 20 (4). – P. 927-935.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Алтайском крае в 2014 году». – Барнаул, 2015. – 150 с.
4. Галахов В.П., Попов Е.С., Дмитриев В.О. Сравнительный анализ расчета максимальных снеготазов в условиях низких гор (бассейн Чумыша) // *Известия АГУ*. – 2003. – № 3 (29). – С. 79-84.
5. Силантьева М.М., Безматерных Д.М., Ирисова Н.Л. и др. Изучение биологического разнообразия в комплексном заказнике «Усть-Чумышский» Тальменского района Алтайского края // Особо охраняемые природные территории Алтайского края и сопредельных территорий, тактика сохранения видового разнообразия и генофонда: матер. регион. науч.-практ. конф. – Барнаул: АлтГУ, 2002. – С. 165-173.
6. Прохорова И.М., Ковалева М.И., Фомичева А.М. Оценка митотоксического и мутагенного действия факторов окружающей среды: метод. указания. – Ярославль, 2003. – 32 с.
7. Хлебова Л.П., Ерещенко О.В. Ритмы суточной митотической активности у березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях Алтайского края // *Известия Алтайского государственного университета*. – 2014. – № 3-1 (83). – С. 100-104.
8. Ларикова Н.В. Исследование генотоксичности воды и донных отложений реки Оби в районе города Барнаула // *Мир науки, культуры, образования*. – 2012. – № 2 (33). – С. 369-374.
9. Ларикова Н.В., Архипов И.А., Робертус Ю.В. Оценка экологического состояния поверхностных вод в районе рудника «Веселый» // *Мир науки, культуры, образования*. – 2012. – № 6 (37). – С. 459-463.
10. Буторина А.К., Калаев В.Н. Анализ чувствительности различных критериев цитогенетического мониторинга // *Экология*. – 2000. – № 3. – С. 206-210.
11. Калаев В.Н., Попова А.А. Цитогенетические характеристики и морфологические показатели семенного потомства деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), произрастающих на территориях с разным уровнем антропогенного загрязнения // *Вестник ВГУ*. – 2014. – № 4. – С. 63-72.

#### References

1. Fiskesjo G. The Allium test as a standard in environmental monitoring // *Hereditas*. – 1985. – Vol. 102 (1). – P. 99-112.
2. Barberio A., Voltolini J.C., Mello M.L. Standardization of bulb and root sample sizes for the Allium cepo test // *Ecotoxicology*. – 2011. – Vol. 20 (4). – P. 927-935.
3. Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy v Altaiskom krae v 2014 godu». – Barnaul, 2015. – 150 s.
4. Galakhov V.P., Popov E.S., Dmitriev V.O. Sravnitel'nyi analiz rascheta maksimal'nykh snegozapasov v usloviyakh nizkikh gor (bassein Chumysa) // *Izvestiya AGU*. – 2003. – № 3 (29). – S. 79-84.
5. Silant'eva M.M., Bezmaternykh D.M., Iri-sova N.L. i dr. Izuchenie biologicheskogo raznoobraziya v kompleksnom zakaznike «Ust'-Chumyshskii» Tal'menskogo raiona Altaiskogo kraja // Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Altaiskogo kraja i sopredel'nykh territorii, taktika sokhraneniya vidovogo raznoobraziya i genofonda: Mater. region. nauch.-prakt. konf. – Barnaul: AltGU, 2002. – S. 165-173.
6. Prokhorova I.M., Kovaleva M.I., Fomicheva A.M. Otsenka mitotoksicheskogo i mutagen-nogo deistviya faktorov okruzhayushchei sredy: metodicheskie ukazaniya. – Yaroslavl', 2003. – 32 s.
7. Khlebova L.P., Ereshchenko O.V. Ritmy sutochnoi mitoticheskoi aktivnosti u berezy povisloi (*Betula pendula* Roth.) v usloviyakh Altaiskogo kraja // *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2014. – № 3-1 (83). – S. 100-104.
8. Larikova N.V. Issledovanie genotoksichnosti vody i donnykh otlozhenii reki Obi v raione goroda Barnaula // *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. – 2012. – № 2 (33). – S. 369-374.
9. Larikova N.V., Arkhipov I.A., Robertus Yu.V. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya poverkhnostnykh vod v raione rudnika «Veselyi» // *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. – 2012. – № 6 (37). – S. 459-463.
10. Butorina A.K., Kalaev V.N. Analiz chuvstvitel'nosti razlichnykh kriteriev tsitogeneticheskogo monitoringa // *Ekologiya*. – 2000. – № 3. – S. 206-210.
11. Kalaev V.N., Popova A.A. Tsitogeneticheskie kharakteristiki i morfologicheskie pokazateli semennogo potomstva derev'ev duba chereschatogo (*Quercus robur* L.), proizrastayushchikh na territoriyakh s raznym urovnem antropogennogo zagryazneniya // *Vestnik VGU*. – 2014. – № 4. – С. 63-72.