

ISSN 1563-034X; eISSN 2617-7358
Индекс 75880; 25880

ӘЛ-ФАРАБИ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТИ

ХАБАРШЫ

Экология сериясы

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЬ-ФАРАБИ

ВЕСТНИК

Серия экологическая

AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

EURASIAN JOURNAL

of Ecology

№4 (61)

Алматы
«Қазақ университеті»
2019



KazNU Science • ҚазҰУ Ғылымы • Наука КазНУ

ХАБАРШЫ

ЭКОЛОГИЯ СЕРИЯСЫ № 4 (61) желтоқсан



04. 05. 2017 ж. Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникация министрлігінде тіркелген

Күзділ № 16501-Ж

Журнал жылына 4 рет жарықта шығады
(наурыз, маусым, қыркүйек, желтоқсан)

ЖАУАПТЫ ХАТШЫ

Ниязова Р.Е., б.ғ.к., профессор (Қазақстан)

E-mail: Raygul.Niyazova@kaznu.kz

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

Заядан Б.К., б.ғ.д., профессор, КР ҰҒА корр.-мүшесі,
(ғылыми редактор) (Қазақстан)
Колумбаева С.Ж., б.ғ.д., профессор (ғылыми редактордың
орынбасары) (Қазақстан)
Жубанова А.А., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Шалахметова Т.М., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Кенжебаева С.С., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Атабаева С.Дж., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Садырова Г.А., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Баубекова А.С., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)
Мамилов Н.Ш., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)

Инелова З.А., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)

Кушиаренко С.В., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)

Абилев С.К., б.ғ.д., профессор (Ресей)

Дигель И., PhD докторы, профессор (Германия)

Маторин Д., б.ғ.д., профессор (Ресей)

Рахман Е., PhD докторы, профессор (Қытай)

Тамо Таңғыраев Е., PhD докторы, профессор (Жапония)

Аллахвердиев Сулайман, PhD (Ресей)

ТЕХНИКАЛЫҚ ХАТШЫ

Салмұрзаұлы Р., аға оқытушы (Қазақстан)

Экология сериясы қоршаған органдың қорғау және қоршаған ортада антропогендік факторлардың әсері,
коршаған орта ластаушыларының биотаға және түрғындар денсаулығына әсерін бағалау, биологиялық
алуантүрлілікті сақтаудың өзекті мәселелері бағыттарын қамтиды.



Министерство образования и науки
Республики Казахстан
Официальный интернет-ресурс
Комитета по контролю в сфере
образования и науки



Ғылыми басылымдар болімінің басшысы

Гульмира Шаккозова

Телефон: +7 747 125 6790

E-mail: Gulmira.Shakkozova@kaznu.kz

Редакторлары:

Гульмира Бекбердиева

Агила Хасанқызы

Компьютерде беттеген

Айгүл Алдашева

ИБ № 13258

Пішімі 60x84 1/8. Қолемі 7,8 б.т. Тапсырыс № 8493.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің
«Қазақ университеті» баспа үйі.

050040, Алматы қаласы, әл-Фараби даңғылы, 71.

«Қазақ университеті» баспа үйінің баспаханасында басылды.

© Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, 2019

ШОЛУ МАҚАЛАЛАРЫ

REVIEW ARTICLE

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

¹U. Aliyaskarova , ²M. Saparbaev , ¹A. Bissenbaev 

¹Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty, e-mail: amangeldy.bisenbaev@kaznu.kz

²Gustave Roussy Cancer Campus, Villejuif Cedex, France

REPAIR OF INTERSTRAND DNA CROSSLINKS INDUCED BY OXIDATIVE STRESS AND ANTI-CANCER AGENTS

Abstract. Interstrand crosslinks (ICLs) occur when two complimentary strands of DNA are covalently linked together after exposure to crosslinking agents, therefore blocking the processes essential for cell survival such as DNA transcription, replication and recombination by preventing the strand separation and switching cell fate to apoptosis. Taking advantage of it, chemical agents such as cisplatin, mitomycin C and nitrogen mustards are widely used in chemotherapy against cancer and several hyperplastic diseases. However, cellular responses induced by ICLs and repair mechanisms counteracting their cytotoxic effect can lead to the appearance of acquired resistance in cancer cells thus limiting the efficiency of the treatment. In this review, we will discuss the main properties of several classes of ICL-forming agents and recent advances in our understanding of the mechanisms of ICL repair. Due to the recent developments on the repair mechanisms of various ICLs, our insight has broadened regarding the drug-specific formation and cellular processing of ICLs. Even though the main features of ICL repair remained the same, new players of repair machinery acting upon specific ICLs are being discovered. These new findings may furnish a basis to improve and adapt anticancer therapies by targeting DNA repair pathways in order to counteract the development of resistance to anti-cancer treatments.

Key words: DNA repair, oxidative stress, DNA crosslinks

¹У. Алиасқарова, ²М. Сапарбаев, ¹А. Бисенбаев

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.,
e-mail: amangeldy.bisenbaev@kaznu.kz

²Густав Розси атындағы онкологиялық орталық, Франция, Париж қ.

**Оксидативті стресс пен антирактық агенттер әсерінен
ДНК молекуласында пайда болған тізбекаралық айқасқан
байланыстардың репарациясы**

Аннотация. Химиялық, агенттердің әсерінен екі комплементарлы ДНК тізбектері бір-бірімен, сүтектік байланыс емес, ковалентті байланысқан жағдайда тізбекаралық айқасқан байланыстар (ICL) пайда болады. Сондықтанда ICL, транскрипция, репликация және ДНК рекомбинациясы сияқты клетканың тіршілігіне маңызды процестерді тежел, клетканың апоптоз жолына түсүіне себеп болады. Осыған орай, цисплатин және митомицин С сияқты химиялық агенттер рак және гиперплазиялық ауруларына қарсы химиотерапия саласында кеңінен қолданылады. Алайда, ICL-ің цитотоксикалық әсеріне қарсы тұратын клеткаішілік процестер, сонымен қатар ДНК репарациясының механизмдері химиотерапиялық өндеулердің емдік әсерін шектеп отыр. Осы мақалада, біздер ICL түзетін бірнеше заттардың қасиеттерін, сонымен қатар түзілген ICL-дің репарациялану механизмі туралы соңғы деректерді талқылаймыз. Соңғы кездері жарияланған деректер, ICL-дің пайда болу механизмдері мен клетканың ICL-ге қатысты жауабы туралы түсінігімізді кеңейтті. ICL зақымдалулардың репарациялану сипаттамалары еш өзгеріссіз болғанымен, ICL-дің түрлеріне қатысты жаңа репарациялану механизмдері айқындалып жатыр. Осы, ДНК молекуласындағы ICL түрлеріне қатысты репарациясының механизмі туралы жаңа деректер, ісікке қатысты терапияда ICL түзуші агенттерді пайдаланудың емдік әсерін арттыруға негіз бола алады дег ойлаймыз.

Түйін сөздер: ДНК репарациясы, оксидативті стресс, ДНК тізбекаралық байланысы.

¹У. Алиаскарова, ²М. Сапарбаев, ¹А. Бисенбаев

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы,
e-mail: amangeldy.bisenbaev@kaznu.kz

²Онкологический центр им. Густава Рози, Франция, г. Париж

Репарация межцепочечных сшивок в ДНК, индуцированных оксидативным стрессом и антираковыми агентами

Аннотация. Межцепочечные перекрестные связи (ICL) возникают, когда две комплементарные цепи ДНК ковалентно связаны друг с другом после воздействия сшивающих агентов, поэтому они блокируют процессы, важные для выживания клеток, такие как транскрипция, репликация и рекомбинация ДНК, предотвращая разделение цепи и переключая судьбу клетки на апоптоз. В связи с этим, химические агенты, такие как цисплатин и митомицин С, широко используются в химиотерапии против рака и некоторых гиперплазических заболеваний. Однако клеточные ответы, индуцируемые ICL, и механизмы репарации, противодействующие их цитотоксическому эффекту, могут приводить к появлению приобретенной резистентности в раковых клетках, что ограничивает эффективность лечения. В этом обзоре мы обсудим основные свойства нескольких классов веществ, формирующих ICL, а также последние достижения в понимании механизмов репарации ICL. В связи с недавними результатами исследования механизмов репарации различных ICL, наше понимание расширилось в отношении специфического образования ICL и клеточной обработки ICL. Несмотря на то, что основные характеристики репарации ICL остались прежними, обнаруживаются новые механизмы репарации, действующие на конкретные ICL. Эти новые результаты могут послужить основой для улучшения и адаптации противоопухолевой терапии на основе знания механизмов репарации ДНК с целью противодействия развитию устойчивости к противораковому лечению.

Ключевые слова: репарация ДНК, оксидативный стресс, межцепочечная сшивка ДНК.

Introduction

In mammalian genome around 10^5 endogenous DNA lesions on average are formed per cell on daily basis as a result of replication errors, oxygen free radicals produced during cellular respiration, exposure to mutagenic environmental factors and modifications by both endogenous and exogenous genotoxic compounds [1, 2]. It is believed that these DNA lesions lie at the origin of cell lethality, tissue degeneration, aging, and cancer due to their cytotoxicity and miscoding properties, which affects normal genetic information inheritance and translation. Luckily most of these lesions have small and non-bulky character and are easily fixed by different DNA repair mechanisms that appeared in living organisms during the evolution to recognize, excise, and accurately replace specific forms of genetic modifications. However, there are also bulky and extremely cytotoxic DNA lesions such as double-strand breaks (DSB) and inter-strand DNA crosslinks (ICLs), which are very difficult to repair and thus require a coordinated contribution of several distinct repair pathways [3].

Inter-strand DNA crosslinks (ICLs) are among the most toxic DNA damages that block transcription and replication by preventing strand separation. A single ICL is enough to kill repair-deficient bacteria

and yeast cell, whereas around 20-40 ICLs can lead to the death of a repair-proficient mammalian cell. Due to their high cytotoxicity, ICL-inducing agents like cisplatin, mitomycin C and psoralen are commonly used drugs against hyperplastic diseases such as cancer, psoriasis, and vitiligo [2, 4]. Like most of other DNA lesions, once induced, ICLs lead to the activation of cellular signaling and repair mechanism, which are being associated with the development of acquired resistance of tumor cells to anti-cancer drugs [5]. Due to the elevated mutation rate and specific changes in the genome organization of cancer cells, the sensitivity to DNA crosslinking agents greatly varies among tumors, making the choice of optimal therapy complicated. In this review we will discuss the properties of different DNA crosslinking agents and ICLs that they induce, as well as the current insight on understanding of ICL repair mechanisms in cells.

Formation of ICLs

The idea of using DNA inter-strand crosslinking agents in chemotherapy originated from extremely toxic mustard gas which was created as a deadly chemical weapon during the First World War. In 1943, during the Second World War US Merchant Ship with 60 tons of sulphur mustard bombs was

bombed and led to the contamination of the nearby city and suburbs. As a result of autopsy it was revealed that this chemical specifically attacked the white blood cells of the victims. It was proposed that these chemicals might be used as a treatment of leukaemia and later, after the war, the first study on the 'Nitrogen Mustard Therapy' was published [6].

After almost seven decades of continuous studies, nowadays there are different chemical DNA crosslinking drugs such as nitrogen mustards, platinum compounds, psoralens and mitomycin C widely used in the treatment of different solid tumors and leukaemia. Although these drugs have been used against tumor cells with remarkable efficiency since their anti-cancer property have been first discovered, the fact that they induce cell death by the ICLs formation was discovered much later on. As it appeared these agents form covalent bonds between neighboring nucleotides on one or two strands of DNA, inducing intra- or inter-strand crosslinks and only the latter ones, which represent only a small fraction of the total DNA adducts, are thought to be the main determinant of the cytotoxicity of these drugs [4, 7].

Depending on a number of factors, including cellular uptake and metabolic activation, ICL agents have different cytotoxicities. Nitrogen mustards and their derivatives such as melphalan, chlorambucil, and cyclophosphamide induce both intra-strand and inter-strand crosslinks by reacting with guanines at 5'-GNC-3' sites. Nitrogen mustards act very rapidly inducing ICLs with 14° strand bending distortion within 20 minutes after treatment [8, 10]. Psoralens that are used to treat several skin diseases like psoriasis can be activated by UVA to induce thymine monoadducts and ICLs between thymines at 5'-TA-3' and 3'-AT-5' sequences in DNA. Psoralen-induced ICLs cause unwinding of 25° and minor local distortion of DNA's helical structure. Natural antitumor antibiotic mitomycin C forms adducts at the N-7 and N-2 of guanine, intra-strand cross-links, and ICLs between the N-2 of guanines at 5'-GC-3' and 3'-CG-5' sequences in the minor groove. Widely used anti-cancer drug cisplatin mainly reacts with guanines, forming 65% d(GpG) intra-strand cross-links, 25% d(ApG) intra-strand cross-links and 5–8% ICLs between the guanines in the sequence d(GpC) [8, 9]. Among all platinum compounds cisplatin is the one causing the largest DNA distortion by 45° bending and 79° unwinding. Carboplatin adducts are similar to cisplatin adducts, with 3–4% ICLs. Although the percentage of cisplatin-induced ICLs is low, they seem to cause major DNA distortions, whereas another platinum

compound transplatin with up to 30% of ICL induce is less toxic, which could be due to several reasons such as different structure of the ICL allowing faster repair, slower conversion of transplatin monoadducts to ICLs, and a lack of the highly toxic d(GpG) intra-strand adducts [11-13].

Although most of the current interest in ICL-inducing agents appeared from their use in anti-cancer chemotherapy, endogenous crosslinking agents are considered to be behind the evolution of the cellular responses that these exogenous agents trigger. ICLs appear endogenously as a result of the reaction between DNA and by-products of lipid peroxidation, including acrolein and crotonaldehyde R, β-unsaturated aldehydes [14, 15], that are also found in food, tobacco and pesticides and their concentrations increase in the cells of subjects with a high-fat diet and alcoholism [16, 17]. As long as cellular survival is seriously threatened by the presence of such adducts, they might be considered as a driving evolutionary force for the development of the repair and signaling pathways of ICLs.

Therefore, ICLs can occur naturally and are something that cells must deal, even though they are rare in healthy cells. The existence of a rare genetic human disorder Fanconi anemia (FA), where patients are extremely sensitive to ICL-inducing agents, underscore the importance of being able to process ICLs in normal cells [18]. As a result, the ICL repair pathways are vital for healthy cells, but at the same time they are a cause of the resistance to ICL-inducing agents under therapeutic conditions.

Consequences of ICL formation

The processes necessary for normal functioning of cells such as replication and transcription requires separation of the two strands of a DNA double helix. ICL inducing agents create covalent bonds between two bases in opposite strands, which are more difficult to repair, compared to those on one DNA strand, called intra-strand DNA crosslinks [7]. The latter is assumed to be less toxic due to the presence of the universally conserved nucleotide excision repair pathway (NER) which can remove these lesions and also specific translesion synthesis DNA polymerases that may bypass these DNA adducts during the replication. Moreover, since only one strand of DNA is distorted in the case of intra-strand crosslinks, the opposite complimentary strand might be used as a template during the repair (mostly by NER pathway) and replication, which is not possible with ICLs that damage both strands [9]. As it was shown in the first studies of ICL repair

in *E. coli* by Cole [19], the interplay of multiple repair pathways such as nucleotide excision repair (NER) and homologous recombination (HR) is required to deal with ICLs. In eukaryotes the repair of ICLs is even more complex due to the presence of additional layers of the regulation such as chromatin and dependence of the repair pathway choice on the cell cycle. Therefore, as well as NER and HR, other DNA repair and signaling pathways such as FA, mismatch repair (MMR) and translesion synthesis (TLS) are involved in ICL repair [20].

In addition, the cellular processing of ICLs can generate DSBs during the replication due to the replication fork stall and collapse. The formation of DSBs leads to the number of processes such as cell-cycle arrest, HR pathway-mediated repair of the breaks, and also to apoptosis, in case of large number of unrepaired DNA lesions. At present, it is not clear whether apoptosis induced by UV-lights and ICLs, which induce different types of DNA lesions, occurs because of the replication induced DSBs [21, 22]. What is more, it is remains unclear how a cell decides to survive through the repair or dye via apoptosis. In this review, we will focus on two fields regarding the ICL-induced cellular response, ICL removal from DNA and its regulation by Fanconi anemia (FA) pathway.

ICL removal in G0/G1 cells

The vast majority of studies indicate that the repair of ICLs occurs mainly via replication-dependent mechanism [20]. However, the removal of ICLs in quiescent G0/G1 phase cells may proceed by different mechanism. The induction of strong replication fork blockage by DNA crosslinking agents is the main reason of their high cytotoxicity of. Cells lacking the replication-coupled ICL repair exhibit high sensitivity to DNA crosslinking agents. However, in the case of quiescent (G0/G1 phases) cells the removal of ICLs is also essential because of the transcription stall, but the repair mechanisms and the main players are different from that of replication-dependent ICL repair. In all eukaryotes from yeast to human cells replication-independent repair of ICLs in G0/G1 phases occurs through two-step incision of ICL by NER machinery. First, ICL-containing region in DNA is recognized and cut by NER enzymes [23, 24]. In case of transcription blockage by ICL, incision complex is loaded by the two specific factors of transcription-coupled NER, which are CSA and CSB but in non-transcribed regions by XPC-HHR23B complex *via* global-genome NER (GG-NER). In this step, the incision

complex consists of XPA-RPA, TFIIH, XPF-ERCC1 and XPG. Once the dual bracketed incisions are done, the gap generated only on one side of DNA duplex is bypassed by a TLS polymerase such as DNA polymerase κ , DNA polymerase ζ , or REV1 [23, 25-27]. The short oligonucleotide covalently-bound to a nucleotide on another strand goes through the second round of incision with different composition of enzymatic complex. And finally, the second gap is filled in by Pol δ and PCNA.

The repair of ICLs in S phase

The ICL induced stall of the replication machinery by the blockage of strand separation and DNA polymerase activity is a major cause of ICL cytotoxicity, thus it is assumed that the replication fork stall triggers the initiation of ICL repair. The removal of ICLs during DNA replication is a very complex process that requires involvement of several repair pathways and involvement of various enzymes acting in different cellular processes. Several studies suggest that cell exposure to ICL-inducing agents leads to the generation of double-strand breaks (DSB) in S phase of cell cycle, which in turn are repaired by HR but not by the classical non-homologous end joining (NHEJ) pathway [23]. Therefore ICL-induced DSBs were associated with the replication fork, although the details of the replication-dependent ICL repair remained unknown until very recently. It was shown that in *S. cerevisiae*, in proliferating as well as in quiescent cells, ICLs are recognized and excised by NER machinery, thus making NER-deficient yeast mutants extremely sensitive to ICL-inducing agents [27-30]. However, in case of mammalian cells, hypersensitivity to crosslinking agents was demonstrated only for the cells deficient for XPF and ERCC1 which are components of a heterodimeric endonuclease XPF/ERCC1, that is able to recognize and cleave single-stranded branched DNA structures with high specificity [27-30]. In addition, several classes of proteins, such as, structure-specific endonuclease MUS81-EME1, homologue of XPF-ERCC1, TLS polymerases Pol ζ and Rev1, and HR proteins: Rad54, XRCC2 and XRCC3 were found to be involved in ICL-repair based on the sensitivity of mutant cell lines lacking these proteins to ICLs [20]. MUS81-EME1 specifically binds to double-stranded branched DNA structures, Holliday junctions and 3'-flaps, and as well as XPF-ERCC1 is found to be implicated in ICL-induced DSB generation in replicating cells [31]. At present it is not clear, whether, the formation of DSB is a

consequence of the ICL repair, this should be further investigated [9, 32]. Recently many nucleases have been shown to be involved in the ICL incision and without any doubt the accumulation of knowledge coming from various studies have shed light on our understanding of ICL repair. Here, we summarize the most recent model of the ICL repair in replicating cells. Dual bracketed incisions of an ICL during DNA replication result in the generation of DSB in one of newly synthesized sister chromatid, which is then repaired by HR pathway. The studies of the roles of *S. cerevisiae* RAD51, RAD52, RAD54, RAD59 and MRE11 genes showed that they are important for the ICL repair, since the mutant strains deficient for any of these genes exhibited hypersensitivity to DNA crosslinking agents. Interestingly, although YKU70 mutants (deficient for NHEJ) did not demonstrate increased sensitivity to ICLs as compared to control, YKU70/RAD52 double mutants exhibited the same sensitivity profile as RAD52 mutant alone. As it was mentioned above, high DSBs accumulation and DSB repair failures in HR-deficient cells suggest that the NHEJ pathway is not involved in the ICL-induced DSBs repair [10]. In addition, the mammalian cells with mutations in RAD51 paralogues, RAD54, RAD54B and BRCA2 demonstrated increased sensitivity to ICL-causing agents, compared to wildtype, which is not the case for the HNEJ-deficient mutants [33]. It was also hypothesized that HR is responsible for the restart of stalled replication forks after the repair of ICL-induced DSB. In vertebrates, the Fanconi anemia (FA) system plays major role in the replication-coupled ICL repair. Indeed, the FA patients with this cancer-prone inherited disorder, are extremely sensitive to DNA crosslinking agents. In fact, there are at least twenty genes in which mutations are associated with the FA phenotype and although their biological role is not well understood yet, they are known to control HR in the replication-dependent ICL repair.

Apart from the incision-dependent ICL repair, which leads to the collapse of the replication fork and generation of DSBs, the alternative incision-independent ICL repair *via* unhooking of the crosslinked DNA bases by NEIL3 DNA glycosylase from Fpg/Nei family has been described in recent studies. In two different studies [34-37], enzymatic activity of NEIL3 DNA glycosylase upon psoralen-induced ICLs was demonstrated using biochemical *in vitro* reconstitution system. Walters and colleagues using cell-free *Xenopus* egg extracts have shown efficient unhooking of the ICL *via* hydrolysis of the N-glycosydic bond between the adducted base

and deoxyribose sugar by NEIL3, and creating an AP site on one DNA strand and psoralen-thymine monoadduct on the other complementary DNA strand. It has been suggested that a basic site is then removed by the AP endonuclease or AP lyase activity, while monoadduct might be removed via base excision repair (BER) pathway [36]. On the other hand, Saparbaev's laboratory has demonstrated that NEIL1 and NEIL3 DNA glycosylases are able to resolve psoralen-crosslinked DNA fragments in three- and four-stranded DNA structures [34-35, 37]. Although, these experiments have been performed *in vitro*, the recent studies revealed that NEIL3 is overexpressed in various tumors that characterized by high resistance to ICL-inducing agents such as cisplatin, nitrogen mustards and mitomycin C. These observations imply the importance of this gene in the resolving of CLs in the incision-independent repair pathways without generation of highly toxic DSB [38-41].

FA pathway-coordinated removal of ICLs

FA is a rare genetic disease resulting in aplastic anemia, bone marrow failure, congenital abnormalities, and high predisposition to develop hematological (typically acute myelogenous leukemia) and squamous cell cancers. After exhaustive genetic and functional complementation studies, 22 genes were found so far to be mutated in FA patients, making this disorder genetically highly heterogeneous [7, 42]. What is more, FA gene products play roles in the ICL response and repair of associated DNA damage and they found to be involved in double-strand break (DSB) repair, mismatch repair (MMR), and nucleotide excision repair (NER) pathways. Mutations in FANC genes lead to high sensitivity to DNA crosslinking agents and genetic instability [18]. Products of nine FA genes (FANCA, FANCB, FANCC, FANCE, FANCF, FANCG, FANCL, FANCM, FANCT) form FA core complex, whereas at least five of them are associated proteins (FAAP100, FAAP24, HES1, MHF1 and MHF2). In addition, there are two FA core complex proteins that have catalytic activities – FANCM and FANCL. The former, FANCM, is a DNA translocase, that interacts with MHF1-2 and FAAP24 [42-45], this complex is a first sensor to be recruited to DNA damage sites and it promotes remodeling of the stalled replication forks. It has been suggested that FANCM plays a role in loading of the FA core complex to the stalled replication fork structures, but if FA core complex is absent, it activates checkpoint signaling [18]. Two other

proteins, UHRF1 and UHRF2, recently, have been found to also act as ICL sensors, and to be recruited to the lesion site within seconds to promote activation of the FA pathway [46]. The FANCL is an ubiquitin ligase required for the monoubiquitination of the FANCD2-FANCI proteins, a second component of the FA pathway [20]. Monoubiquitination of this complex is essential for DNA repair, because it leads to the co-localization of this heterodimer with several DNA repair factors, such as FANCD1 (also known as BRCA2) in chromatin, which is, on the other hand, necessary to induce resistance to ICL-forming agents. Using *Xenopus* cell-free extracts, the role of FANCD2-FANCI proteins in cisplatin-induced ICL repair has been demonstrated by in vitro reconstitution assay [47]. As it appeared, the absence of FANCD2/I complex or mutations which makes its ubiquitination impossible, result in the blockage of the ICL unhooking and subsequent translesion synthesis bypass. It was suggested that mono-ubiquitinated FANCD2-FANCI complex is one of the key factors in the recruitment of structure-specific endonucleases and translesion synthesis DNA polymerases to the ICL sites. In addition, it was suggested that the gene products of FANCD1 (BRCA2), FANCJ (BACH1 or BRIP1 helicase) and FANCN (PALB2) are necessary for the efficient repair of the ICL-induced DSBs by HR machinery [18].

As described above, the FA pathway mainly operates during replication of DNA, in S-phase of cell cycle, cooperating with the structure-specific DNA endonucleases, TLS DNA polymerases and HR proteins which repairs the ICL-induced DSBs. This replication-dependent ICL repair pathway taken place in proliferating cells is considered to be the main system that counteracts the genotoxic effects of ICLs. However in slowly dividing and non-dividing at all highly differentiated cells such as neurons, the replication-independent repair of ICLs such as TC-NER can be used to preserve genetic integrity. Currently, the mechanism of FA pathway outside of S-phase is poorly understood and requires further investigations [48].

ICL repair inhibitors

As a result of the accumulation of knowledge coming from various studies, the FA pathway has become increasingly complex; thus the understanding of detailed molecular mechanisms of its functioning can be used to detect the susceptibility of tumor cells to DNA crosslinking anti-cancer agents. Therefore this information can be essential for predicting the

success of treatment as well as the inhibition of FA pathway may sensitize tumor cells to the treatment with DNA crosslinking agents.

As it was demonstrated previously, efficient repair of ICLs leads to the development of acquired resistance of tumor cells to DNA crosslinking agents [49, 50] and the inhibition of key processes in the ICL repair pathways is one of the main aims of anti-cancer therapy. Recently, it has been shown, that even without using DNA damaging agents, inhibition of single-strand DNA break (SSB) repair protein PARP1 leads to the synthetic lethality of the BRCA2 (FANC1)-deficient cells [51], which implies the promising future for the development of new anti-cancer therapy by targeting the DNA repair proteins.

The ICL repair is a complex process, which involves various proteins from different DNA repair pathways, thus in order to successfully inhibit the whole process, is sufficient to identify the key players and target them. Due to high sensitivity of FA-patients to DNA crosslinking agents, this pathway attracts a lot of attention from researchers as a valuable target for DNA repair inhibition. So far, the disturbance of FANCC and FANCG, which are FA core complex proteins, resulted in the increased sensitivity of adenocarcinoma cells to DNA crosslinking agents in mice studies [52]. Various studies have identified the key factors essential for normal functioning of the FA pathway one of them the most important step of FA is the mono-ubiquitination of FANCD2/I complex, which is now being the most studied target for DNA repair inhibition [49, 50]. So far several products, including curcumin and its derivatives were identified as inhibitors of the FA pathway [53, 54]. Very recently, it was also found that phosphorylation of FANCD2 suppresses the FA pathway by reducing the DNA binding activity of FANCD2-FANCI complex [47]. The novel mechanism that controls the load of FANCD2/FANCI complex to DNA, allowing to switch the FA pathway on and off. This seems to be very attractive target to downregulate the FA pathway which may lead to the increased sensitivity of tumor cells to DNA crosslinking agents. However deeper understanding of this mechanism is necessary to be able to apply it in clinic. So far several other studies with promising results were done with much attention to FANCD2/FANCI complex and its monoubiquitination by FA core proteins [55, 56]. Further development of the inhibitors of FA pathway requires understanding of the whole picture of FA pathway and its mechanisms to specifically downregulate this repair system.

Conclusion

ICLs are highly cytotoxic DNA lesions which damage both DNA strands in the duplex and require efficient cooperation of many different DNA repair and signaling pathways to be removed. After decades of investigations, our picture of the mechanisms of ICL repair which involves the network of interactions between signaling and repair proteins induced by ICLs still remains incomplete. So far, the studies of ICL repair face the difficulties due to rare character of these lesions in the non-treated healthy cells, however now thanks to the development of biochemical methods

to synthesize oligonucleotides and plasmids containing site-specific ICLs as well as to use of cell-free extracts, researchers are able to progress in the understanding of the molecular mechanisms of the ICL repair and beyond, which undoubtedly would help the understanding the development of anti-cancer therapy resistance. The knowledge accumulating from different studies around the world would allow us to improve and adapt the anti-cancer therapies by using the combination of DNA crosslinking agents and the specific inhibitors targeting the essential DNA repair proteins in order to increase the efficiency of treatment of cancer patients.

References

- 1 Wilson III, D., Bohr, V. "The mechanics of base excision repair, and its relationship to aging and disease." *DNA Repair* 6, no. 4 (2007): 544–559.
- 2 Hoeijmakers, J. H. J. "DNA Damage, Aging, and Cancer." *New England Journal of Medicine* 361, no. 15 (2009): 1475–1485.
- 3 Saparbaev, M. K., Zharkov, D.O. Glycosylase Repair. Reference Module in Life Sciences, 2017.
- 4 Muniandy, P. A., Liu, J., Majumdar, A., Liu, S., & Seidman, M. M. "DNA interstrand cross-link repair in mammalian cells: step by step." *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology* 45, no. 1 (2009): 23–49.
- 5 Helleday, T., Petermann, E., Lundin, C., Hodgson, B., Sharma, R.A. "DNA repair pathways as targets for cancer therapy." *Nat Rev Cancer* 8, (2008): 193–204.
- 6 Goodman, L.S, et al. "Nitrogen mustard therapy. Use of methyl-bis(β-chloroethyl)amine hydrochloride and tris(β-chloroethyl)amine hydrochloride for Hodgkin's disease, lymphosarcoma, leukemia and certain allied and miscellaneous disorders." *J. Am. Med. Assoc.* 132, (1946): 126–132.
- 7 Deans, A.J., West, S.C. "DNA interstrand crosslink repair and cancer." *Nat Rev Cancer*. 11, no. 7 (2011): 467-80.
- 8 Dronkert, M.L., Kanaar, R. "Repair of DNA interstrand cross-links." *Mutat Res.* 486, no. 4 (2001): 217–47.
- 9 Hashimoto, S., Anai, H., Hanada, K. "Mechanisms of interstrand DNA crosslink repair and human disorders." *Genes Environ.* 2016, no. 1 (2016): 38:9. doi: 10.1186/s41021-016-0037-9.
- 10 McHugh, P.J., Sones, W.R., Hartley, J.A. "Repair of intermediate structures produced at DNA interstrand cross-links in *Saccharomyces cerevisiae*." *Mol Cell Biol.* 20, no. 10 (2000): 3425–33.
- 11 Meijer, C. et al. "Immunocytochemical analysis of cisplatin-induced platinum-DNA adducts with double-fluorescence video microscopy." *Br. J. Cancer* 76, (1997): 290–298.
- 12 Huang, H., Zhu, L., Reid, B.R., Drobny, G.P. & Hopkins, P.B. "Solution structure of a cisplatin-induced DNA interstrand cross-link." *Science* 270, (1995): 1842–1845.
- 13 Galluzzi, L. et al. "Molecular mechanisms of cisplatin resistance." *Oncogene* 31, (2012): 1869–1883.
- 14 Kozekov, I.D., et al. "DNA interchain cross-links formed by acrolein and crotonaldehyde." *J. Am.Chem. Soc.* 125, (2003): 50–61.
- 15 Stone, M.P., et al. "Interstrand DNA cross-links induced by α, β-unsaturated aldehydes derived from lipid peroxidation and environmental sources." *Acc. Chem.Res.* 41, (2008): 793–804.
- 16 Brooks, P.J., Theruvathu, J.A. "DNA adducts from acetaldehyde: implications for alcohol-related carcinogenesis." *Alcohol.* 35, (2005): 187–193.
- 17 Folmer, V., Soares, J.C., Gabriel, D., Rocha, J.B. "A high fat diet inhibits δ-aminolevulinate dehydratase and increases lipid peroxidation in mice (*Mus musculus*)."*J. Nutr.* 133, (2003): 2165–2170.
- 18 Schärer, O.D. "DNA Interstrand Crosslinks: Natural and Drug-Induced DNA Adducts that Induce Unique Cellular Responses." *Chembiochem.* 6, no. 1 (2005): 27-32.
- 19 Cole, R., Levitan, D., Sinden, R. "Removal of psoralen interstrand cross-links from DNA of *Escherichia coli*: mechanism and genetic control." *J Mol Biol* 103, (1976):39–59.
- 20 Guainazzi, A., Schärer, O.D. "Using synthetic DNA interstrand crosslinks to elucidate repair pathways and identify new therapeutic targets for cancer chemotherapy." *Cell Mol Life Sci.* 67, no. 21 (2010): 3683-97. doi: 10.1007/s00018-010-0492-6.
- 21 Akkari, Y.M., Bateman, R.L., Reifsteck C.A., Olson S.B., Grompe M., Mol. Cell. Biol. 20, (2000): 8283 – 8289.
- 22 Bree, R. T., Neary, C., Samali, A., Lownde,s N. F. *DNA Repair* 3, (2004): 989 –995.

- 23 Sarkar, S., Davies, A.A., Ulrich, H.D., McHugh, P.J. "DNA interstrand crosslink repair during G1 involves nucleotide excision repair and DNA polymerase zeta." *EMBO J.* 25, no. 6 (2006): 1285–94. doi:10.1038/sj.emboj.7600993.
- 24 Wood, R.D. "Mammalian nucleotide excision repair proteins and interstrand crosslink repair." *Environ Mol Mutagen.* 51, no.6 (2010): 520–6. doi:10.1002/em.20569.
- 25 McHugh, P.J., Sarkar, S. "DNA interstrand cross-link repair in the cell cycle: a critical role for polymerase zeta in G1 phase." *Cell Cycle.* 5, no. 10 (2006): 1044–7.
- 26 Williams, H.L., Gottesman, M.E., Gautier, J. "Replication-independent repair of DNA interstrand crosslinks." *Mol Cell.* 47, no. 1 (2012): 140–7. doi:10.1016/j.molcel.2012.05.001.
- 27 Klug, A.R., Harbut, M.B., Lloyd, R.S., Minko, I.G. "Replication bypass of N2-N2 deoxyguanosine interstrand cross-links by human DNA polymerases eta and iota." *Chem Res Toxicol.* 25, no.3 (2012): 755–62. doi:10.1021/tx300011w.
- 28 De Silva, I.U., McHugh, P.J., Clingen, P.H., Hartley, J.A. "Defining the roles of nucleotide excision repair and recombination in the repair of DNA interstrand cross-links in mammalian cells." *Mol Cell Biol.* 20, no.21 (2000): 7980–90.
- 29 Niedernhofer, L.J., Odijk, H., Budzowska, M., van Drunen, E., Maas, A., Theil, A.F., et al. "The structure-specific endonuclease Ercc1-Xpf is required to resolve DNA interstrand cross-link-induced double-strand breaks." *Mol Cell Biol.* 24, no.13 (2004): 5776–87. doi:10.1128/MCB.24.13.5776-5787.2004.
- 30 De Silva, I.U., McHugh, P.J., Clingen, P.H., Hartley, J.A. "Defects in interstrand cross-link uncoupling do not account for the extreme sensitivity of ERCC1 and XPF cells to cisplatin." *Nucleic Acids Res.* 30, no. 17 (2002): 3848–56.
- 31 Chen, X.B., Melchionna, R., Denis, C.M., Gaillard, P.H., Blasina, A., Van de Weyer, I., et al. "Human Mus81-associated endonuclease cleaves Holliday junctions in vitro." *Mol Cell.* 8, no.5 (2001): 1117–27.
- 32 Rothfuss, A., Grompe, M. "Repair kinetics of genomic interstrand DNA cross-links: evidence for DNA double-strand break-dependent activation of the Fanconi anemia/BRCA pathway." *Mol Cell Biol.* 24, no.1 (2004): 123–34.
- 33 Wesoly, J., Agarwal, S., Sigurdsson, S., Bussen, W., Van Komen, S., Qin, J., et al. "Differential contributions of mammalian Rad54 paralogs to recombination, DNA damage repair, and meiosis." *Mol Cell Biol.* 26, no.3 (2006): 976–89. doi:10.1128/MCB.26.3.976-989.2006.
- 34 Couve-Privat, S., Mace, G., Rosselli, F., Saparbaev, M.K. "Psoralen-induced DNA adducts are substrates for the base excision repair pathway in human cells." *Nucleic Acids Res.* 35, no.17 (2007): 5672–5682.
- 35 Couve, S., Mace-Aime, G., Rosselli, F., Saparbaev, M.K. "The human oxidative DNA glycosylase NEIL1 excises psoralen-induced interstrand DNA cross-links in a three-stranded DNA structure." *J. Biol. Chem.* 284, no.18 (2009): 11963–11970.
- 36 Semlow, D.R., Zhang, J., Budzowska, M., Drohat, A.C., Walter, J.C. "Replication-Dependent Unhooking of DNA Interstrand Cross-Links by the NEIL3 Glycosylase." *Cell* 167, no.2 (2016): 498–511 e414.
- 37 Martin, P. R., Couvé, S., Zutterling, C., Albelazi, M. S., Groisman, R., Matkarimov, B. T., Saparbaev, M. K. "The Human DNA glycosylases NEIL1 and NEIL3 Excise Psoralen-Induced DNA-DNA Cross-Links in a Four-Stranded DNA Structure." *Scientific Reports* 7, no.1 (2017).
- 38 Kauffmann, A., Rosselli, F., Lazar, V., Winneppenninckx, V., Mansuet-Lupo, A., Dessen, P., Sarasin, A. "High expression of DNA repair pathways is associated with metastasis in melanoma patients." *Oncogene* 27, no.5 (2007): 565–573.
- 39 Shimamura, K., Kato, H., Kawanishi, Y., Igarashi, H., Goto, M., Tao, H., Sugimura, H. "Abnormal Expressions of DNA Glycosylase Genes NEIL1, NEIL2, and NEIL3 Are Associated with Somatic Mutation Loads in Human Cancer." *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2016, (2016): 1–10.
- 40 Hildrestrand, G. A., Neurauter, C. G., Diep, D. B., Castellanos, C. G., Krauss, S., Bjoras, M., Luna, L. "Expression patterns of Neil3 during embryonic brain development and neoplasia." *BMC Neuroscience* 10, no. 1 (2009): 45.
- 41 Wai, H.C., Alvina, G.L. "Transcriptional landscape of DNA repair genes underpins a pan-cancer prognostic signature associated with cell cycle dysregulation and tumor hypoxia." *DNA Repair* 19, no.78 (2019): 142–153.
- 42 Rodríguez, A., D'Andrea, A. "Fanconi anemia pathway." *Curr Biol.* 27, no.18 (2017): R986-R988. doi: 10.1016/j.cub.2017.07.043.
- 43 Moldovan, G-L, D'Andrea, A.D. "How the Fanconi anemia pathway guards the genome." *Annu Rev Genet* 43, (2009): 223–249.
- 44 Walter, J., Sun, L., Newport, J. "Regulated chromosomal DNA replication in the absence of a nucleus." *Mol Cell* 1 (1998): 519–529.
- 45 Yan, Z., Delannoy, M., Ling, C., Daee, D., Osman, F., Muniandy, P.A., Shen, X., Oostra, A.B., Du, H., Steltenpool, J., Lin, T., Schuster, B., Dé caillet, C., Stasiak, A., Stasiak, A.Z., Stone, S., Hoatlin, M.E., Schindler, D., Woodcock, C.L., Joenje, H., Sen, R., de Winter, J.P., Li, L., Seidman, M.M., Whitby, M.C., Myung, K., Constantinou, A., Wang, W. "A histone-fold complex and FANCM form a conserved DNA-remodeling complex to maintain genome stability." *Mol Cell* 37, (2010): 865–878.
- 46 Lopez-Martinez, D., Kupeculak, M., Yang, D., Yoshikawa, Y., Liang, C.C., Wu, R., Gygi, S.P., Cohn, M.A. "Phosphorylation of FANCD2 Inhibits the FANCD2/FANCI Complex and Suppresses the Fanconi Anemia Pathway in the Absence of DNA Damage." *Cell Rep.* 27, no.10 (2019): 2990–3005.e5. doi: 10.1016/j.celrep.2019.05.003.
- 47 Knipscheer, P., Raschle, M., Smogorzewska, A., Enoui, M., Ho, T.V., Scharer, O.D., Walter, J.C., Elledge, S.J. "The Fanconi anemia pathway promotes replication-dependent DNA interstrand crosslink repair." *Science* 326, (2009): 1698–1701.

- 48 Datta, A., Brosh, R.M. Jr. "Holding All the Cards-How Fanconi Anemia Proteins Deal with Replication Stress and Preserve Genomic Stability." *Genes (Basel)*. 10, no.2 (2019): E170. doi: 10.3390/genes10020170.
- 49 Martin, L.P., Hamilton, T.C., Schilder, R.J. "Platinum resistance: the role of DNA repair pathways." *Clin Cancer Res* 14, (2008): 1291–1295.
- 50 Spanswick, V.J., Hartley, J.M., Hartley, J.A. "Measurement of DNA interstrand crosslinking in individual cells using the single cell gel electrophoresis (Comet) assay." *Methods Mol Biol* 613, (2010): 267–282.
- 51 Bryant, H.E., Schultz, N., Thomas, H.D., Parker, K.M., Flower, D., Lopez, E., Kyle, S., Meuth, M., Curtin, N.J., Helleday, T. "Specific killing of BRCA2-deficient tumours with inhibitors of poly(ADP-ribose) polymerase." *Nature* 434, (2005): 913–917.
- 52 Gallmeier, E., Calhoun, E.S., Rago, C., Brody, J.R., Cunningham, S.C., Hucl, T., Gorospe, M., Kohli, M., Lengauer, C., Kern, S.E. "Targeted disruption of FANCC and FANCG in human cancer provides a preclinical model for specific therapeutic options." *Gastroenterology* 130, (2006): 2145–2154.
- 53 Chirnomas, D., Taniguchi, T., de la Vega, M., Vaidya, A.P., Vasserman, M., Hartman, A-R., Kennedy, R., Foster, R., Mahoney, J., Seiden, M.V., D'Andrea, A.D. "Chemosensitization to cisplatin by inhibitors of the Fanconi anemia/BRCA pathway." *Mol Cancer Ther* 5, (2006): 952–961.
- 54 Landais, I., Sobeck, A., Stone, S., LaChapelle, A., Hoatlin, M.E. "A novel cell-free screen identifies a potent inhibitor of the Fanconi anemia pathway." *Int J Cancer* 124, (2009): 783–792.
- 55 Paul, R. Andreassen, Alan, D. D' Andrea, Toshiyasu, Taniguchi. "ATR couples FANCD2 monoubiquitination to the DNA-damage response." *Genes Dev.* 18, no. 16 (2004): 1958–1963.
- 56 Wang, G.Z., Liu, Y.Q., Cheng, X., Zhou, G.B. "Celastral induces proteasomal degradation of FANCD2 to sensitize lung cancer cells to DNA crosslinking agents." *Cancer Sci.* 106, no. 7 (2015): 902-8. doi: 10.1111/cas.12679.

1-бөлім

**ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ ҚОРҒАУ
ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА
АНТРОПОГЕНДІК ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІ**

Section 1

**ENVIRONMENTAL IMPACT
OF ANTHROPOGENIC FACTORS
AND ENVIRONMENTAL PROTECTION**

Раздел 1

**ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ
И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

^{1, 2}Y.A. Genievskaya[✉], ^{1, 2}A.Y. Amalova[✉], ³A.A. Ydyrys[✉],
³A.T. Sarbayev[✉], ⁴S. Griffiths[✉], ^{1, 2}S.I. Abugalieva[✉],
^{1, 2}Y.K. Turuspekov[✉]

¹Institute of Plant Biology and Biotechnology, Kazakhstan, Almaty, e-mail: yerlant@yahoo.com

²al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

³Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Industry, Kazakhstan, Almaty region, Almalybak

⁴John Innes Centre, Norwich, United Kingdom

RESISTANCE OF COMMON WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) MAPPING POPULATION PAMYATI AZIEVA × PARAGON TO LEAF AND STEM RUSTS IN CONDITIONS OF SOUTH-EAST KAZAKHSTAN

Abstract. Epiphytoty of wheat fungal diseases, particularly leaf (caused by *Puccinia triticina* Erikss.) and stem (caused by *Puccinia graminis* Pers.) rusts, leads for the serious grain yield losses up to 60-80% all over the Globe, including Kazakhstan. Such detrimental effect is explained by the parasitic nature of pathogens and the ability of their spores to be spread easily with the wind. The presence of intermediate pathogen's hosts near the fields also plays an important role in the rapid development of infection. Therefore, comprehensive studies of pathogens, including genetic and ecological aspects, are required. In the present study, the population including 98 recombinant inbred lines of crossing between Russian common wheat cultivar Pamyati Azieva and UK's cultivar Paragon was used for field trials of resistance to leaf and stem rusts. Experiments were conducted in 2018-2019 in the fields of South-East Kazakhstan. As a result of this study, the resistance status of each line and two parental cultivars was determined, the promising lines with relatively high resistance to two diseases and great yield potential were identified, a negative correlation between the severity of diseases and yield components was revealed. A better understanding of relationships among pathogen, its host and other organisms, ways of pathogen's distribution and its role in ecosystems will give reliable background for the developments of new common wheat cultivars.

Key words: Common wheat, ecological testing, genotype × environment interaction, leaf rust, stem rust.

^{1, 2}О.А. Гениевская, ^{1, 2}А.ы. Амалова, ³А.А. Үдырыс,
³А.Т. Сарбаев, ⁴С. Гриффис, ^{1, 2}С.И. Абугалиева, ^{1, 2}Е.К. Туруспеков

¹Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты,
 Қазақстан, Алматы қ., е-mail: yerlant@yahoo.com

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

³Қазақ егіншілік және есімдік шаруашылығы Ғылыми-зерттеу институты,
 Қазақстан, Алматы облысы, Алмалыбай,

⁴Джон Иннес Орталығы, Ұлыбритания, Норвич қ.

**Қазақстанның оңтүстік-шығыс жағдайында жапырақ және
сабақ татына жұмсақ бидайдың карталанатын
Памяти Азиева × Парагон популяциясының төзімділігі**

Анданпа. Бидайдың санырауқұлақ ауруының эпифитотии, әсіресе жапырақ (қоздырғыш *Puccinia triticina* Erikss.) және сабақ (қоздырғыш *Puccinia graminis* Pers.) татының таралуы, дүниежүзінде, оның ішінде Қазақстанда да өнімділікті 60-80% дейін төмендетеді. Мұндай зиянды әсер патогеннің паразиттік сипатымен және оның спораларының жемен онай таралу қабілетімен түсіндірледі. Егістік маңында патогендік аралық иелерінің болуы инфекцияның жедел дамуында маңызды рөл атқарады. Осыған байланысты, генетикалық және экологиялық аспектілерді қоса, қоздырғыштарды жан-жақты зерттеу қажет. Бұл зерттеуде Ресейдің Памяти Азиева мен британдық Парагон жұмсақ бидай сорттарын будандастыру арқылы алынған 98 рекомбинанттық инбрэдтік линиялардан тұратын популяциясы жапырақ пен сабақ татына төзімділігін егістік жағдайында сынау үшін қолданылды. Эксперимент 2018-2019 жылдар

аралығында, Қазақстанның оңтүстік-шығыс егістік жағдайында жүргізілді. Нәтижесінде: әр линия мен ата-аналық сорттардың төзімділік статусы анықталды, екі ауруға салыстырмалы жоғары төзімділігі бар және жоғары өнімділігі бар перспективті линиялар анықталды, сонымен қатар, аурудың зақымдау ауырлығы мен өнімділік компоненттерінің арасында кері корреляция анықталды. Патоген, оның иесі және басқа ағзалар арасындағы қарым-қатынасты, патогеннің таралу жолдары және оның экожүйедегі рөлін жақсы түсіну жұмысқа, бидайдың жана сорттарын дамытуға сенімді алғышарттар жасайды.

Түйін сөздер: жұмысқа, бидай, *Triticum aestivum*, экологиялық сынақтар, генотип × қоршаған орта өзара әрекеттесуі, жапырақ таты, *Puccinia triticina*, сабак таты, *Puccinia graminis*.

^{1, 2}Ю.А. Гениевская, ^{1, 2}А.Ы. Амалова, ³А.А. Ыдырыс,

³А.Т. Сарбаев, ⁴С. Гриффис, ^{1, 2}С.И. Абугалиева, ^{1, 2}Е.К. Турұспеков

¹Институт биологии и биотехнологии растений, Казахстан, г. Алматы, e-mail: yerlant@yahoo.com

²Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

³Казахский Научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства, Казахстан, Алматинская область, Алмалыбак

⁴Джон Иннес Центр, Великобритания, г.Норвич

Устойчивость картирующей популяции мягкой пшеницы Памяти Азиева × Парагон к листовой и стеблевой ржавчинам в условиях Юго-Востока Казахстана

Абстракт. Эпифитотии грибных болезней пшеницы, в особенности листовой (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.) и стеблевой (возбудитель *Puccinia graminis* Pers.) ржавчин, приводят к серьезным потерям урожая зерна до 60-80% по всему миру, включая Казахстан. Подобный пагубный эффект объясняется паразитической природой патогена и способностью его спор с легкостью распространяться ветром. Наличие промежуточных хозяев патогена вблизи полей также играет важную роль в быстром развитии инфекции. Исходя из этого, необходимо всестороннее изучение патогенов, в том числе генетические и экологические аспекты. В данном исследовании популяция 98 рекомбинантных инбредных линий, полученная путем скрещивания российского сорта мягкой пшеницы Памяти Азиева и британского сорта Парагон, была использована для полевых испытаний на устойчивость к листовой и стеблевой ржавчинам. Эксперимент проводился в течение 2018-2019 гг. на полях Юго-Востока Казахстана. В результате: был определен статус устойчивости каждой линии и родительских сортов, идентифицированы перспективные линии с относительно высокой устойчивостью к двум болезням и высоким потенциалом урожайности, а также была обнаружена негативная корреляция между тяжестью поражения болезнью и компонентами урожайности. Лучшее понимание взаимоотношений между патогеном, его хозяином и другими организмами, путей распространения патогена и его роли в экосистемах создадут надежные предпосылки для разработки новых сортов мягкой пшеницы.

Ключевые слова: мягкая пшеница, экологические испытания, взаимодействие генотип × среда, листовая ржавчина, стеблевая ржавчина.

Abbreviations

ANOVA – analysis of variance; I – immune; KRIAPI – Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Industry; LR – leaf rust; M – mixed reaction to disease; MAS – marker-assisted selection; MP – mapping population; MR – moderately resistant; MS – moderately susceptible; PCA – principal component analysis; R – resistant; RIL(s) – recombinant inbred line(s); S – susceptible; SR – stem rust.

Introduction

Common wheat (*Triticum aestivum* L.) is the most important cereal crop in the World. Annual production of wheat grain takes the first place not only globally, but also in Kazakhstan, where it gives

20-25 million tons of the grain per year with up to 5-7 million tons to be exported [1]. However, infection with leaf rust (LR) and stem rust (SR) pathogens causes serious yield reduction [2]. The majority of wheat cultivars used for commercial production on the territory of Kazakhstan are susceptible to both of these diseases [3].

Leaf or brown rust (caused by *Puccinia triticina* Erikss.) and stem or black rust (caused by *Puccinia graminis* Pers.) are parasitic rust fungi belonging to the order Uredinales [4]. Their lifecycle is complex and includes 5 stages and several intermediate hosts. For example, pathogen uses *Berberis* species and some wild grasses for the development of pycniospores and aeciospores; and cereal species, including wheat, are used for the development of urediniospores, teliospores, and basidiospores [5, 6]. The

main dangers of this fungi for a wheat plant is the ability to use their nutrients and thereby reduce key yield parameters, such as size, weight of kernels and number of kernels per spike [7, 8]. Epiphytotic development of SR in 1964 on the territories of northern Kazakhstan caused yield losses up to 50% [9]. In 2000-2001 Akmola region was exposed to epiphytotic outbreak of LR which affected commercial wheat cultivars up to 50-100% [10]. Dry and hot climate in most of Kazakhstan territories contributes to the rapid spread of pathogens' spores along with the air masses to large areas. Despite this, pathogens' populations vary in different parts of Kazakhstan [2, 11]. Every year, new data on the pathogenic composition of LR and SR populations appear. In 1998 there was the first report on highly-virulent race Ug99 of SR on wheat detected in Uganda [12]. For the last 20 years this race had spread from Eastern Africa to Near East and keeps moving toward the center of Eurasia continent [13]. The Ug99 has not been detected in Kazakhstan yet [3], however, search and development of methods for combating both LR and SR are extremely important and relevant research areas for our country.

One of the most common ways to protect wheat crops from rust infections is the usage of fungicides [3, 14]. Chemical preventative methods are effective, but at the same time economically disadvantageous and dangerous to the environment and humans. The most optimal and safe option is to create and grow wheat cultivars that are resistant to disease and possesses high yield potential. The resistance of wheat to LR and SR pathogens is controlled by *Lr* and *Sr* genes respectively. Overall, approximately 80 *Lr* and 60 *Sr* genes have been identified and described in common wheat, durum wheat and diploid wheat species [15]. However, in addition to the genetic factor, the environment has a significant effect on the manifestation of resistance. Individual genes can be effective in all regions of the country or certain parts of it. For example, it was shown that gene *Lr9* was effective for South-East, East, North Kazakhstan, and Akmola region, but gene *Lr23* was highly specific and effective in Akmola region only [2]. Thus, the main task for wheat breeders is searching for sources of resistance genes for LR and SR, and development of new cultivars using both traditional and modern breeding methods, including marker-assisted selection (MAS) [16, 17].

One of the methods which is widely used to find genetic factors associated with diseases resistance is linkage mapping. For these purposes biparental mapping populations (MP) are applied. There are several types of MP – F₂, Double haploid (DH),

Back cross population, recombinant inbred lines (RIL), near-isogenic lines (NIL). This method has established itself as effective for the analysis of many quantitative traits of wheat, such as productivity [18, 19, 20], disease resistance [21, 22, 23], and tolerance to abiotic stress factors [24, 25]. The results of such work usually are the identification of new genomic regions responsible for the quantitative trait and the selection of promising lines for further breeding programs. In this study, the Pamyati Azieva × Paragon MP consisted from 98 RIL was used for studying the genetic basis of LR and SR resistance. Current field analysis was a part of QTL mapping study, and data obtained in this work allowed to reveal promising lines with the resistance to LR and SR, that could be used in the breeding of new promising cultivars.

Materials and methods

Mapping population. The MP comprising of 98 F8 recombinant inbred lines (RILs) was created via crossing between two spring wheat cultivars – “Pamyati Azieva” and “Paragon” – using single seed descent method [26, 27]. The first parental cultivar was Russian medium-early spring wheat cultivar “Pamyati Azieva” recommended for the Western Siberian region of Russian Federation [28], and approved for commercial cultivation in the North Kazakhstan [29]. The second parental cultivar was the United Kingdom’s elite spring wheat cultivar “Paragon”. The MP was developed within the ADAPTAWHEAT project in greenhouse conditions by using facilities of the John Innes Centre (Norwich, UK) during 2011-2015 [30].

Field trials and ecological testing. Evaluations of the MP’s resistance and major yield components were conducted in the field plots of Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Industry (KRIAPI, South-East Kazakhstan, Almaty region) in 2018-2019. Ninety-eight RILs, the parental cultivars (“Pamyati Azieva” and “Paragon”), and standard check cultivars (“Kazakhstanskaya 4” and “Kazakhstanskaya rannespelaya”) were evaluated under a natural source of infection for the resistance to LR and SR. The MP was planted at each site in randomized doubled experiments. Plants were grown in 15 cm distance between rows and 5 cm distance between plants within a row. Each row contained 25 plants. LR and SR resistances were assessed visually during the phase of grain formation on 75 of Zadoks scale [31]. Averaged values for both diseases in two years were used for further analysis. Evaluation

of resistance/susceptibility levels was performed using the scale of Mains and Jackson [32] for LR, the scale of Stakman [33] for SR. The severity of rust infection on leaf and stem surfaces was assessed using the modified Cobb scale [34, 35]. For more precise analysis of information, initial data was converted into 9-point scale (Table 1). The list of assessed yield components included several plant

architecture traits – plant height (PH), peduncle length (PL), and number of productive spikes per plant (NPSP); spike architecture traits – spike length (SL), number of fertile spikelets in the main spike (NFS), and number of kernels in the main spike (NKS); productivity traits – weight of kernels in the main spike (WKS), weight of kernels per plant (WKP) and thousand kernels weight (TKW).

Table 1 – Correspondence between traditional scale and the 9-point scale for evaluation of resistance/susceptibility to leaf and stem rusts based on visual symptoms

Traditional scale	9-point scale	Plant's reaction	Symptoms
0	0	Immune	No visible signs of infection
R	1	Resistant	Visible chlorosis or necrosis, no uredia are present
10-40 MR	2	Moderately resistant	Small uredia are present and surrounded by either chlorotic or necrotic areas (10-40% of the leaf/stem surface)
50-100 MR	3		Small uredia are present and surrounded by either chlorotic or necrotic areas (50-100% of the leaf/stem surface)
10-40 M	4	Intermediate (mixed)	Variable sized uredia are present some with chlorosis, necrosis or both (10-40% of the leaf/stem surface)
50-100 M	5		Variable sized uredia are present some with chlorosis, necrosis or both (50-100% of the leaf/stem surface)
10-40 MS	6	Moderately susceptible	Medium sized uredia are present and possibly surrounded by some chlorotic areas (10-40% of the leaf/stem surface)
50-100 MS	7		Medium sized uredia are present and possibly surrounded by some chlorotic areas (50-100% of the leaf/stem surface)
10-40 S	8	Susceptible	Large uredia are present, generally with little or no chlorosis or necrosis (10-40% of the leaf/stem surface)
50-100 S	9		Large uredia are present, generally with little or no chlorosis or necrosis (50-100% of the leaf/stem surface)

Statistical analysis. MS Excel software was used to process and visualize numerical data. Analysis of variance (ANOVA), Pearson correlation tests and principle component analysis (PCA) were performed using the R statistical platform [36].

Results and discussion

The resistance of RILs, parental cultivars and check cultivars to leaf and stem rusts. Studied RILs population had demonstrated different levels of resistance to LR and SR observed in two years. Severity distribution for both diseases showed transgressive segregation. In 2018 the average score of LR resistance was 6.5 ± 2.5 (ranged from 5 to 7) and remained stable in 2019 when it was 6.6 ± 2.7 (ranged from 2 to 9) on 9-point scale, both of which corresponded to moderately susceptible level (MS).

The major part of lines – 92% – in 2018 belonged to MS group and 8% was highly susceptible (S), but in 2019 the situation had changed (Figure 1A). In the second year of observations, amount of MS lines had reduced to 64% and number of S lines had increased up to 29%. At the same time, 9 lines had demonstrated moderate resistance (MR) which was not observed in 2018. Parental cultivars Pamjati Azieva and Paragon had demonstrated high susceptibility to LR in 2018 (20S and 40S respectively or 8 on 9-point scale), which were higher than the average value among the RILs; and moderate susceptibility in 2019 (30MS and 40MS respectively or 6 on 9-point scale), which were lower than the average score of RILs population.

As for SR, the severity scores had changed dramatically between two years. The average score in 2018 was on the level of 7.4 ± 2.3

points (ranged from 3 to 8) with the following distribution: 77% of lines were defined as S, 14% were MS, 6% demonstrated mixed reaction, and three lines were MR (Figure 1B). SR severity level of Pamyati Azieva and Paragon corresponded to 10MS and 40MS respectively or 6 points for both in 2018 and were lower than the average score in the population. In 2019 scores moved towards resistance, and average score was 1.8 ± 2.0 (ranged from 0 to 8) with 47% of lines being immune (I), 9% were resistant (R), 27% were MR, 16% demonstrated MS level and only one line was highly susceptible. Parental cultivars were generally resistant to SR in 2019 – 5R for Pamyati Azieva and 20R for Paragon.

Check cultivars Kazakhstanskaya rannespelyaya and Kazakhstanskaya 4 had demonstrated moderate

susceptibility to LR – 40MS or 6 on 9-point scale for two diseases and both resistant to SR – 5R or 1 on 9-point scale.

Transgressive segregation for resistance in cereals has been previously reported in wheat for resistance to leaf rust [37, 38] and stem rust [39, 40]. The current study, therefore, confirms the quantitative effect of loci explaining resistance to the two rust diseases. However, both parental cultivars are described as susceptible to two diseases [3, 41], and variations like that can be possibly explained by differences in the composition of pathogen's races in population of particular region and/or weather conditions. Nevertheless, their offspring lines had different levels of resistance to LR and SR in two years what may be explained by the genetic background of parental cultivars.

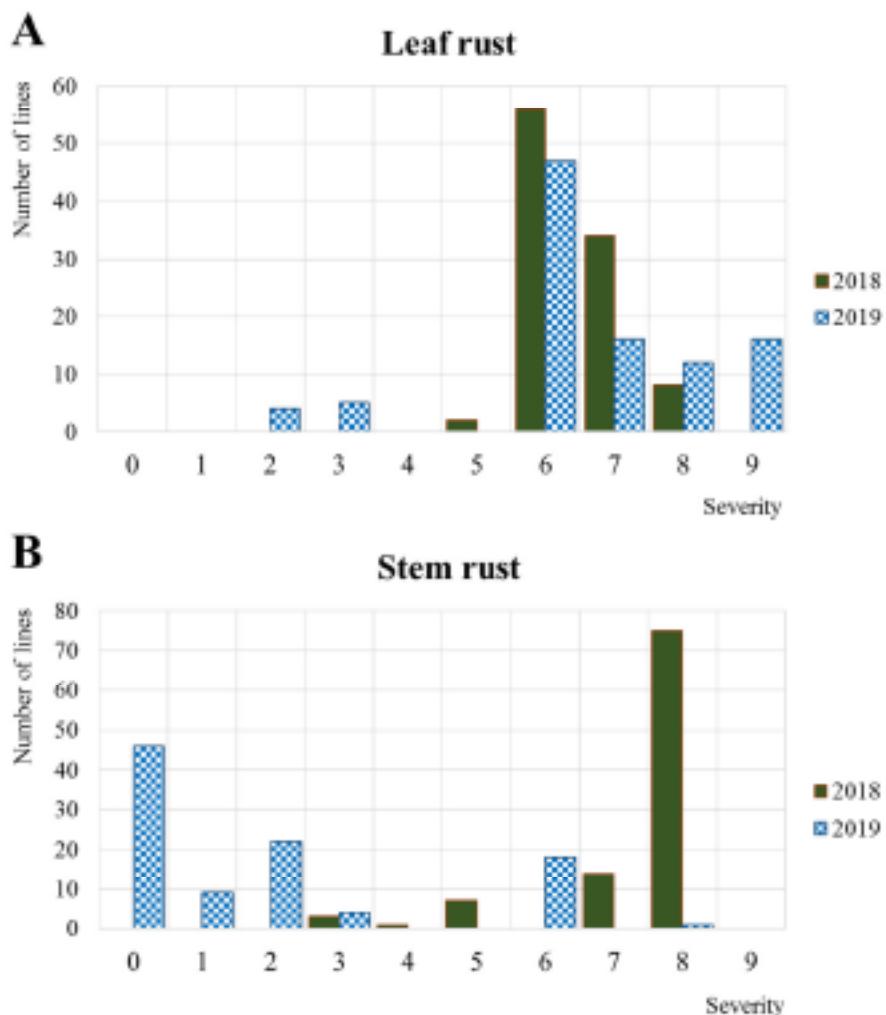


Figure 1 – Phenotypic distribution of Pamyati Azieva x Paragon recombinant inbred lines for leaf (A) and stem (B) rusts severity observed in two years

Analysis of variance indicated a moderately significant influence of genotype ($p<0.001$) and weaker influence of genotype \times environment combination ($p<0.05$) on the severity of LR

(Table 2). As for SR, there were highly significant differences ($p<2e^{-16}$) among the 98 RILs explained by the test environments or two years and weaker influence of genotype on the trait ($p<0.05$) (Table 2).

Table 2 – ANOVA of genotype and environment effects and proportion of phenotypic variation for leaf and stem rusts severity obtained across two testing environments (two years) in Pamyati Azieva x Paragon population

Leaf rust					
Factor	Df	Sum sq	Mean sq	F-value	p-value
Genotype	1	13.89	13.891	8.858	0.003**
Environment (year)	1	0.4	0.405	0.258	0.612
Genotype \times Environment	1	8.21	8.207	5.233	0.023*
Residuals	196	307.37	1.568		
Stem rust					
Factor	Df	Sum sq	Mean sq	F-value	p-value
Genotype	1	16.2	16.2	5.011	0.026*
Environment (year)	1	1596.1	1596.1	494.673	<2e-16***
Genotype \times Environment	1	7.6	7.6	2.368	0.125
Residuals	196	632.4	3.2		

Notes: Df – degree of freedom; F-value – effect of the factor; p-value – probability; * – $p<0.05$, ** – $p<0.01$, *** – $p<0.001$

Correlation between severities of LR and SR and its influence on yield components. In the course of present work, a moderate positive correlation was

observed for LR severity between 2018 and 2019, as well as positive correlation between LS and SR in 2019 (Table 3).

Table 3 – Pearson correlation between severities of leaf and stem rusts in two environments (years) of the experiment

Disease/Environment (year)		Leaf rust		Stem rust	
		2018	2019	2018	2019
Leaf rust	2018	-			
	2019	0.306**	-		
Stem rust	2018	-0.014	0.044	-	
	2019	0.027	0.244*	0.051	-

Notes: * – $p<0.05$, ** – $p<0.01$, *** – $p<0.001$

In the case of LR severity in two years, such phenomena can indicate consistency and repeatability of field data collected from the testing environments in two years. As for the correlation between LR and SR in 2019, high correlation coefficient may suggest that genes conferring leaf rust resistance were either closely linked or pleiotropic to genes that condition stem rust resistance. Therefore, the interactions

between loci conditioning resistance to both LR and SR diseases in the current MP should be studied more deeply.

A phenotypic association study among the 98 RILs was conducted using principal component analysis (PCA) (Figure 2) in order to detect similarities in the lines' responses to LR and SR in two studied environments, as well as to determine the

extent and direction of correlations between the two rusts and determine promising resistant lines. The PCA separated the RILs into two distinct principal components: PC1 and PC2, which explained 35.1% and 25.9% of the total variation, respectively.

The relatively resistant RIL_01 was plotted on a significant distance from the main mass of RILs, as well as lines RIL_10, RIL_12, RIL_33, RIL_43, and RIL_44, which were also highlighted as promising for the breeding (Figure 2).

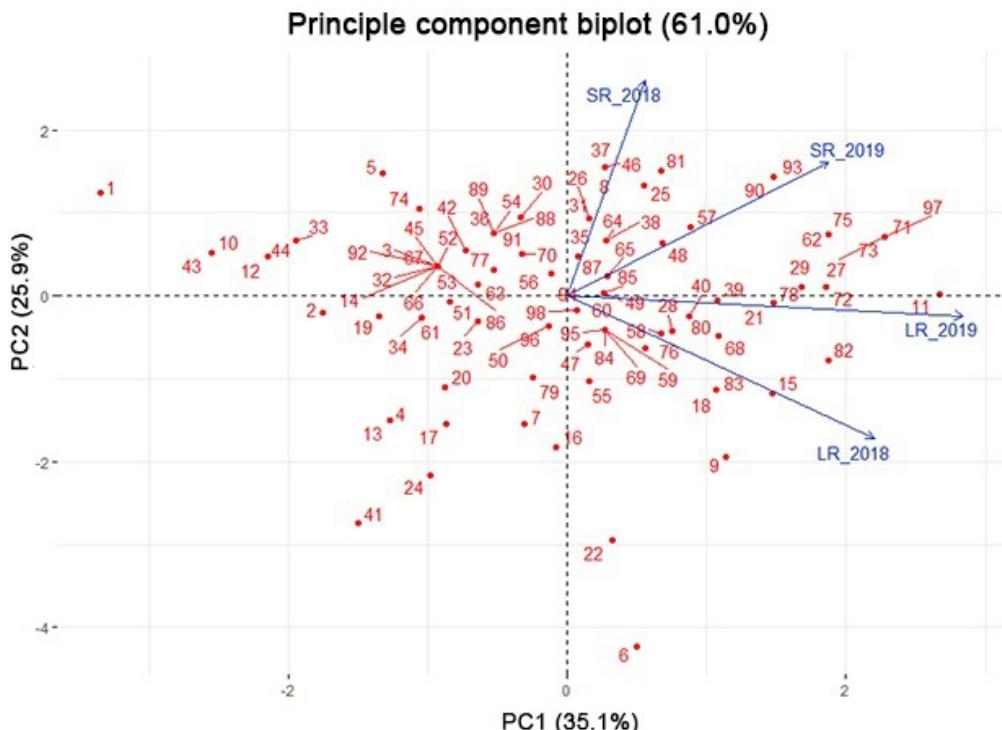


Figure 2 – Association between 98 Pamyati Azieva × Paragon RILs on the basis of the first two principal components (PC1 and PC2) obtained from a principal component analysis based on leaf and stem rust severity scores in two environments. LR – leaf rust, SR – stem rust. Numbers indicate the genotypes

In previous study of yield and its components of this MP in 2015-2018 in Almaty region several RILs were observed to be better than check and parental cultivars [20]. Analysis of weight of kernels per plant (WKP) has indicated that 40 RILs, including five best RILs: RIL_48, RIL_36, RIL_83, RIL_01, and RIL_46, outperformed the local parent cultivar Pamyati Azieva. They showed the best averaged yield values over the indicated period, which is highly correlated with PH, NFS, NKS, and TKW, as indicated by the Pearson correlation index. Individuals with favorable values for all yield-related traits were identified for their incorporation into the breeding studies [20].

In Table 4, there is summarized information about six RILs that had shown relatively high level of resistance to both rust diseases compared with the averaged level, as well as values of important yield components. RIL_01 confirmed its high-yielding significance in the last years [20].

Fungal infection of wheat usually leads to the reduced number of kernels per spike and lower kernel weights due to the parasitic consumption of host nutrients, which leads to apparent yield losses and poor quality of the grains [7]. Correlation analysis of the most important yield components of the studied MP allowed to reveal strong ($p<0.001$) in 2018 and weak ($p<0.05$) in 2019 negative influence of LR severity on the thousand kernel weight (Table 5).

Table 4 – Best-performing RILs displaying leaf rust/stem rust resistance and their values of important yield components compared with averaged levels of 2018-2019

Trait/RIL	Average*	RIL_01	RIL_10	RIL_12	RIL_33	RIL_43	RIL_44
LR	6.6±1.0	3.5±2.0	4.0±2.5	4.5±2.1	4.5±2.1	4.0±2.0	4.5±2.1
SR	4.6±1.3	4.0±2.5	4.0±3.0	4.0±3.0	4.5±3.0	4.0±3.0	4.0±3.0
PH	97.3±8.7	106.2±5.9	93.1±1.2	104.7±1.5	92.0±6.1	97.3±4.7	93.0±0.5
PL	38.1±5.0	40.9±4.4	34.0±4.8	38.2±0.8	34.7±2.4	37.2±1.2	40.5±8.2
NPSP	3.3±0.7	5.3±1.4	3.4±1.1	3.6±1.1	2.7±0.0	3.8±0.7	2.8±0.7
SL	10.7±1.2	10.9±0.6	10.8±0.4	10.0±0.4	10.3±1.4	9.3±0.8	10.8±0.9
NFS	48.6±6.5	45.5±3.3	48.6±2.6	45.2±0.9	46.8±11.5	49.8±2.8	51.8±3.1
NKS	19.7±1.4	20.0±2.1	19.2±1.3	18.7±0.7	19.0±0.0	17.7±12.0	19.8±10.1
WKS	1.7±0.3	1.5±0.4	1.8±0.1	1.8±0.0	1.7±0.5	1.7±0.4	1.6±0.1
WKP	4.4±1.1	5.0±0.1	4.9±1.1	5.0±0.8	3.5±0.8	4.3±0.6	3.4±0.5
TKW	32.6±3.1	30.5±4.1	32.6±3.1	36.1±0.5	32.3±2.1	31.4±0.3	32.7±1.2

Notes: * – Average value of the trait per RIL measured in two years;

Table 5 – Pearson correlation among severities of leaf rust and stem rust and key yield components observed in two years

Dis.	Env.	PH	PL	NPSP	SL	NFS	NKS	WKS	WKP	TKW
LR	2018	-0.006	-0.060	-0.214*	0.122	0.179	0.090	-0.015	-0.042	-0.340***
	2019	-0.185	-0.090	-0.260**	0.036	0.252	0.140	-0.069	-0.144	-0.067*
SR	2018	0.238	0.241	-0.032	0.221	-0.077	0.202	-0.083	-0.168	-0.106
	2019	-0.140	-0.108	-0.172	-0.085	0.019	-0.070	-0.064	-0.154*	0.136

Notes: Dis. – disease; Env. – environment (year); * – p<0.05, ** – p<0.01, *** – p<0.001

Also moderate ($p<0.01$) and weak ($p<0.05$) negative correlations were observed in 2019 and 2018, respectively, for the number of productive spikes per plant. In the case of SR, negative correlation was detected in 2019 between the severity of infection and the weight of kernels per plant (Table 5).

Thus, the resistance status of each line and two parental cultivars was determined, the promising lines with relatively high resistance to two diseases and great yield potential were identified, a negative correlation between the severity of diseases and yield components was revealed.

Conclusion

The present study reported the diverse resistance of RILS of Pamyati Azieva × Paragon mapping population to leaf rust and stem rust resistance. The analysis was conducted based on field evaluation of 98 newly developed RILs, two

parental cultivars and two checks in 2018-2019 on the experimental fields of KRIAPI (South-East Kazakhstan). As the results of this work, 6 best-performing RILs for leaf rust and stem rust resistance were selected for the further wheat breeding and genetic studies. Therefore, the newly developed RILs in the genetic background of Pamyati Azieva and Paragon cultivars can be used for breeding resistant accessions to these two fungal diseases. Further studies using the selected lines are required to understand the genetic basis explaining reaction of lines to leaf rust and stem rust resistance in more diverse environments. The results of this study are invaluable for resistance breeding and contribute to the surge to fight two of the most dangerous wheat diseases.

Conflict of interest

All authors are familiar with the text of the article and declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgments

This work was done in the framework of the project «Development of new DNA markers associated with the resistance of bread wheat to the most dangerous fungal diseases in Kazakhstan» (Reg. No:

0118PK01308) in the Program «Development of the innovative systems for increasing the resistance of wheat varieties to especially dangerous diseases in the Republic of Kazakhstan» BR06249329 supported by the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan.

References

- 1 Official website of Statistics committee of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan. Last modified August 12, 2019. <http://stat.gov.kz>.
- 2 Koyshybaev M. Bolezni pshenitsy. [Diseases of wheat.] Ankara: FAO publisher, 2018. (In Russian).
- 3 Koyshybaev M., Kanafin B.K., Fedorenko Y.N., Gots A.Y., Litovchenko Z.I. "Istochniki ustoychivosti yarovoy myagkoy pshenitsy k vidam rzhavchiny i septorioza v Severnom Kazakhstane." ["Stability sources of common spring wheat to types of rust and Septoria in North Kazakhstan."] International Scientific Journal 12, no. 66 (2017): 117-122. (In Russian).
- 4 Singh R.P., Huerta-Espino J., Roelfs A.P. The Wheat Rusts. In: Bread Wheat: Improvement and Production. Rome: FAO publisher, 2002.
- 5 Singh V., Pandey P.C., Jain D.K. A Text Book of Botany. Delhi: Rastogi, 2008
- 6 Groth J.V., Roelfs A.P. "The effect of sexual and asexual reproduction on race abundance in cereal rust fungus populations." Phytopathology 72, no. 1(1982): 1503-1507.
- 7 Afzal S.N., Haque M.I., Ahmedani M.S., Rauf A., Munir M., Firdous S.S., Rattu A.R., Ahmad I. "Impact of stripe rust on the kernel weight of the wheat varieties sown in rainfed area of Pakistan." Pakistan Journal of Botany 40, no. 2 (2008): 923-929.
- 8 Soko T., Bender C.M., Prins R., Pretorius Z.A. "Yield loss associated with different levels of stem rust resistance in bread wheat." Plant Disease 102, no. 12 (2008): 2531-2538.
- 9 Dzhiembaev Z.T. Sistema meropriyatiy po borbe s glavnymi boleznyami zernovykh kultur (rekomendacii). [The system of measures to combat the major diseases of grain crops (recommendations).] Alma-ata: Alma-ata, 1971. (In Russian).
- 10 Koyshybaev M., Kochorov A.S., Kurmanov M.D. "Osobennosti razvitiya rzhavchiny i septorioza na pshenitse." ["Features of the development of rust and Septoria on wheat."] Bulletin of Agricultural Sciences of Kazakhstan 11, no. 1 (2000): 14-15. (In Russian).
- 11 Rsaliev S.S., Koyshybaev M.K., Morgunov A.I., Kolmer D. "Analiz sostava steblevoy i listovoy rzhavchiny pshenitsy na territorii Kazakhstana." ["Analysis of the composition of the stem and leaf rust of wheat in Kazakhstan."] Collection of articles of the international scientific-practical conferences 1, no. 1 (2005): 267-272. (In Russian).
- 12 Singh R.P., Hodson D.P., Huerta-Espino J., Jin Y., Bhavani S., Herrera-Foessel S., Singh P.K., Singh S., Govindan V. "The emergence of Ug99 races of the stem rust fungus is a threat to world wheat production." Annual Review of Phytopathology 49, no. 1 (2011): 465-481.
- 13 Rautela A., Dwivedi M. "Wheat Stem Rust Race Ug99: A Shifting Enemy." International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 7, no. 1 (2018): 1262-1266.
- 14 Wanyera R., Macharia J.K., Kilonzo S.M., Kamundia J.W. "Foliar fungicides to control wheat stem rust, race TTKS (Ug99), in Kenya." Plant Disease 93, no. 9 (2009): 929-932.
- 15 McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Morris C.F., Xia X.C. "Catalogue of gene symbols for wheat." Supplementary material (2017): 31.
- 16 Gupta P., Langridge P., Mir R.R. "Marker-assisted wheat breeding: Present status and future possibilities." Molecular Breeding 26, no. 2 (2010): 145-161.
- 17 Goutam U., Kukreja S., Yadav R., Salaria N., Thakur K., Goyal A.K. "Recent trends and perspectives of molecular markers against fungal diseases in wheat." Frontiers in Microbiology 6, no. 1 (2015): 861.
- 18 Liu G., Jia L., Lu L., Qin D., Zhang J., Guan P., Ni Z., Yao Y., Sun Q., Peng H. "Mapping QTLs of yield-related traits using RIL population derived from common wheat and Tibetan semi-wild wheat." Theoretical and Applied Genetics 127, no. 11 (2014): 2415-2432.
- 19 El-Feki W.M., Byrne P.F., Reid S.D., Haley S.D. "Mapping Quantitative Trait Loci for Agronomic Traits in Winter Wheat under Different Soil Moisture Levels." Agronomy 8, no. 8 (2018): 133.
- 20 Amalova A., Yermekbayev K., Griffiths S., Abugalieva S., Turuspekov Y. "Phenotypic variation of common wheat mapping population Pamyati Azieva x Paragon in south-east of Kazakhstan." International Journal of Biology and Chemistry 12, no. 1 (2019): 11-17.
- 21 Li C., Wang Z., Li C., Bowden R., Bai G., Li C., Li C., Su Z., Carver B.F. "Mapping of Quantitative Trait Loci for Leaf Rust Resistance in the Wheat Population Ning7840 × Clark." Plant Disease 101, no. 12 (2017): 1974-1979.
- 22 Case A.J., Naruoka Y., Chen X., Garland-Campbell K.A., Zemetra R.S., Carter A.H. "Mapping Stripe Rust Resistance in a Brundage x Coda Winter Wheat Recombinant Inbred Line Population." PLoS ONE 9, no. 3 (2014): e91758.
- 23 Stadlmeier M., Jørgensen L.N., Corsi B., Cockram J., Hartl L., Mohler V. "Genetic Dissection of Resistance to the Three Fungal Plant Pathogens *Blumeria graminis*, *Zymoseptoria tritici*, and *Pyrenophora tritici-repentis* Using a Multiparental Winter Wheat Population." Genes Genomes Genetics 9, no. 5 (2019): 1745-1757.

- 24 Asif M.A., Schilling R.K., Tilbrook J., Brien C., Dowling K., Rabie H., Short L., Trittermann C., Garcia A., Barrett-Lennard E.G., Berger B., Mather D.E., Gillham M., Fleury D., Tester M., Roy S.J., Pearson A.S. "Mapping of novel salt tolerance QTL in an Excalibur × Kukri doubled haploid wheat population." *Theoretical and Applied Genetics* 131, no. 10 (2018): 2179-2196.
- 25 Paliwal R., Röder M.S., Kumar U., Srivastava J.P., Joshi A.K. "QTL mapping of terminal heat tolerance in hexaploid wheat (*T. aestivum* L.)." *Theoretical and Applied Genetics* 125, no. 3 (2012): 561-575.
- 26 Goulden C.H. "Problems in plant selection." *Seventh International Genetical Congress*, (1939): 132-133.
- 27 Graefius J.E. "Short cuts in plant breeding." *Crop Science* 5, no. 1 (1965): 377.
- 28 Official website of the State Commission of the Russian Federation for the Testing and Protection of Breeding Achievements "Gossoortkomissiya". Last modified September 19, 2019. <http://gossortrf.ru/>.
- 29 Official website of the State Commission for Cultivars Testing of Crops of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan. Last modified August 28, 2019. <http://www.goscomsort.kz/index.php/ru>.
- 30 Official website of the ADAPTAWHEAT project supported by John Innes Centre (Norwich, UK). Last modified September 20, 2019. <https://www.jic.ac.uk/adaptawheat>.
- 31 Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. "A decimal code for the growth stages of cereals." *Weed Research* 14, no. 1 (1974): 415-421.
- 32 Mains E.B., Jackson H.S. "Physiologic specialization in the leaf rust of wheat *Puccinia triticina* Erikss." *Phytopathology* 16, no. 2 (1926): 89-120.
- 33 Stakman E.C., Stewart D.M., Loegering W.Q. "Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*." U.S. Agricultural Research Service 617, no. 1 (1962): 1-53.
- 34 Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. "A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals." *Canadian Journal of Research* 26, no. 1 (1948): 496-500.
- 35 Roelfs A., Singh R., Saari E.E. *Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management*. Mexico: CIMMYT, 1992.
- 36 Official website of the R Project for Statistical Computing. Last modified September 15, 2019. <https://www.r-project.org>.
- 37 Suenga K., Singh R.P., Huerta-Espino J., William H.M. "Microsatellite markers for genes Lr34/Yr18 and other quantitative trait loci for leaf rust and stripe rust resistance in bread wheat." *Phytopathology* 93, no. 7 (2003): 881-890.
- 38 Tsilo T.J., Kolmer J.A., Anderson J.A. "Molecular mapping and improvement of leaf rust resistance in wheat breeding lines." *Phytopathology* 104, no. 8 (2014): 865-870.
- 39 Haile J.K., Nachit M.M., Hammer K., Badebo A., Röder M.S. "QTL mapping for resistance to race Ug99 of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in durum wheat (*Triticum durum* Desf.)." *Molecular Breeding* 30, no. 3 (2012): 1479-1493.
- 40 Yu L.X., Morgounov A., Wanyera R., Keser M., Singh S.K., Sorrells M. "Identification of Ug99 stem rust resistance loci in winter wheat germplasm using genome-wide analysis." *Theoretical and Applied Genetics* 125, no. 4 (2012): 749-758.
- 41 Venkatesh K., Singh Z., Kingsly J., Griffiths S., Mishra C.N., Panwar S., Singh G.P., Kumar S. "Evaluation of UK wheat germplasm derived from Paragon\Watkins-Landraces for stripe and leaf rust in India." Conference: 4th International Group Meeting: Wheat Productivity Enhancement through Climate Smart Practices, (2019): 53.

¹Д.Н. Малгелдиев , ²Г.Д. Ултанбекова , ²Е.Ж. Балқыбек ,
¹Б.Н. Бекенов , ³Р.К. Сыдықбекова , ³І.Ж. Қарабаева ,
³Е.Д. Мұсабек 

¹"Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі" РММ, Қазақстан, Алматы қ.

²О.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми зерттеу институты,
Қазақстан, Алматы қ., е-mail: ultanbekova77@mail.ru

³әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

"ІЛЕ-АЛАТАУ МЕМЛЕКЕТТІК ҰЛТТЫҚ ТАБИҒИ ПАРКІ" РММ АҚСАЙ ФИЛИАЛЫНЫҢ ОРМАН ТҮҚЫМБАҚТАРЫНА БИООРГАНИКАЛЫҚ ТЫҢАЙТҚЫШТАРДЫ ҚОЛДАНУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ"

Аңдатпа. Біздің зерттеу жұмысымыз «Іле-Алатау мемлекеттік Ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының орман түқымбақтарында биоорганикалық тыңайтқыштарды қолданудың тиімді технологиясын өзірлеуге бағытталған. Бұл мақаламыздың ғылыми жаңалығы, алғашқы рет «Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының орман түқымбақтарына ағаш есімдіктерінің екпе көштеттері мен көштеттерді өсіру кезінде биоорганикалық тыңайтқыштардың тиімді технологиясы тұрақталды.

Зерттеу жұмысымыздың мәсжаты – «Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының орман түқымбақтарына биоорганикалық тыңайтқыштарды қолдану технологиясын зерттеу.

«Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының жоғарғы және төменгі орман түқымбақтарының топырақ микроорганизмдерінің негізгі экологиялық-трофикалық топтарының сандық құрамы әртүрлі екендігі тұрақталды. Зерттеу нәтижесінде кәдімгі өріктің (*Prunus armeniaca*) бойының ұзындығы өскіндердің пайда болу фазасында бақылау нысанымен салыстырғанда «БиоЭкоGum» PGPR препаратымен өндеген нысанында 25 %, жапырақтардың жаппай ашылу фазасы кезінде 37 % артқаны анықталды. Сиверс (*Malus sieversii*) алмасының бойының ұзындығы өскіндердің пайда болу фазасында бақылау нысанымен салыстырғанда «БиоЭкоGum» PGPR препаратымен өндеген нысанында 32,0 %, жапырақтардың жаппай ашылу фазасы кезінде алманың бойының ұзындығы 29 % артқаны байқалды.

Түйін сөздер: биоорганикалық препарат, PGPR бактерия, микробиология, топырақ, қарашірінді.

¹D.N. Malgeldiev, ²G.D. Ultanbekova, ²E. Balkybek, ¹B.N. Bekenov,

³R.K. Sydykbekova, ³I.Zh. Karabaeva, ³E.D. Musabek

¹RSI «Ile-Alatau state national natural Park» Kazakhstan, Almaty

²U.U,Uspanov Kazakhstan, Almaty Research Institute of Soil Science and Agrochemistry,

Kazakhstan, Almaty, e-mail: ultanbekova77@mail.ru

³Al-Farabi National University, Kazakhstan, Almaty

RSI "Ile-Alatau state national natural park" technology of application of bioorganic fertilizers in forest kennels of Aksai branch

Abstract. Our research work is aimed at developing effective technologies for the use of Bioorganic fertilizers in forest nurseries of the Aksay branch of RSI "Ile-Alatau state national natural Park". The scientific novelty of this article, for the first time stabilized the technology of bioorganic fertilizers in the cultivation of seedlings of tree plants and seedlings of forest nurseries of the Aksai branch of the RSI "Ile-Alatau State National Natural Park". The quantitative composition of the main ecological-trophic groups of soil microorganisms of the upper and lower forest nurseries of the Aksai branch of RSU " Ile-Alatau state national natural Park " has stabilized.

Purpose of research – study of the technology of using bioorganic fertilizers for forest nurseries of the Aksay branch of the RSI "Ile-Alatau State National Natural Park".

As a result of the study, it turned out that the length of apricot growth (*Prunus armeniaca*) in the undergrowth phase increased by 25% in the form of treatment with the PGPR «BioEcoGum» preparation

compared to the control form, and increased by 37% in the phase of mass opening of leaves. The growth length of Sivers apples (*Malus sieversii*) in the phase of sprout formation compared with the control form showed an increase in the form of treatment with «BioEcoGum» PGPR by 32.0%, with a leaf opening phase of 29%.

Key words: bioorganic preparation, PGPR bacterium, Microbiology, soil, humus.

¹Д.Н. Малгелдиев, ²Г.Д. Ултанбекова, ²Е.Ж. Балқыбек, ¹Б.Н. Бекенов,

³Р.К. Сыдықбекова, ³И.Ж. Карабаева, ³Е.Д. Мұсабек

¹РГУ “Иле-Алатауский государственный национальный природный парк”, Казахстан, г. Алматы

²Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им. У.У Успанова,

Казахстан, г. Алматы, e-mail: ultanbekova77@mail.ru

³Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

Разработка эффективных технологий применения биоорганических удобрений

в лесных питомниках Аксайского филиала

РГУ «Иле-Алатауский государственный национальный парк»

Аннотация. Наша исследовательская работа направлена на разработку эффективных технологий применения биоорганического удобрения в лесных питомниках Аксайского филиала РГУ «Иле-Алатауский государственный национальный природный парк». Научная новизна данной статьи – впервые разработана эффективная технология применения биоорганических удобрений в лесных питомниках Аксайского филиала РГУ «Иле-Алатауский государственный национальный природный парк».

Цель исследовательской работы – изучение технологии применения биоорганических удобрений для лесных питомников Аксайского филиала РГУ «Иле-Алатауский государственный национальный природный парк».

Установлено, количественный состав основных эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов верхних и нижних лесных питомников Аксайского филиала РГУ «Иле-Алатауский государственный национальный природный парк». В результате исследования выяснилось, что длина роста абрикоса (*Prunus armeniaca*) в фазе образования подроста после применения биоорганического удобрения «БиоЭкоГум» PGPR по сравнению с контрольным вариантом увеличилась на 25%, в фазе массового вскрытия листьев увеличилась на 37%. Длина роста яблок Сиверс (*Malus sieversii*) в фазе образования подроста после применения биоорганического удобрения «БиоЭкоГум» PGPR по сравнению с контролем вариантом увеличилась на 32,0%, в фазе массового вскрытия листьев увеличилась на 29%.

Ключевые слова: биоорганический препарат, PGPR бактерия, микробиология, почва, гумус.

Қысқартулар

M – метр; га – гектар; м² – квадратты метр; г/см³ – грамм-сантиметр куб; % – процент; ЕПА – ет пептонды агар; ЖМЖ – жалпы микробтардың жиілігі; АВ-1 – жоғарғы тұқымбақ; АН-1 – төменгі тұқымбақ.

Кіріспе

Қазіргі уақытта орман шаруашылығы қызметінде, ормандардың өнімділік деңгейінің төмендеуі ең маңызды мәселе болып отыр. Орман шаруашылығы қызметінің негізгі міндеттерінің бірі, жоғары сапалы отырғызу материалдарын жеткілікті мөлшерде өсіріп және оларды өндіру жағдайларын жақсарту жолымен, орман өсімдіктерінің өнімділігін арттыру болып табылады.

Осыған байланысты біздің мақаламызда «Іле Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі»

PMM орман тұқымбақтарына биоорганикалық тыңайтқыштарды қолданудың тиімді технологиясын әзірлемей қол жеткізу мүмкін еместігі сипатталған. Сонымен біздің зерттеу жұмысында «Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» PMM орман тұқымбақтарына биоорганикалық тыңайтқыштарды қолданудың тиімді технологиясын әзірлеу қазіргі таңда керек екені айқындалып отыр. Орман питомниктеріне биорганикалық тыңайтқыштарды қолдану қажеттілігі және олардың эффективтілігіне байланысты, оларды ұзақ уақыт бойы қарқынды пайдаланудан кейін туындаиды. Бұл мақалада топырақтың агрохимиялық қасиеттері процестерінің көрсеткіші және топырақ микрофлорасының құрамының сандық және сапалық көрсеткіштерін зерттеу, биоорганикалық тыңайтқыштардың эффективтілігін бағалауда ете қажет екендігі тұрақталған.

Зерттеу жұмысында пайдаланатын биоорганикалық препарат «БиоЭкоГум» гуминді

препарат – құрамында гумин қышқылдары мен гуматтары бар комплексті биологиялық белсенді тыңайтқыш, сонымен қоса оның құрамындағы макро- және микроэлементтердің тенденстірілген жиынтығы, өсімдік ауруына қарсы, өсімдіктер мен өскіндердің қорғаныштық қасиеттерін арттыруды қамтамасыз ететін құрамында жетістігі мол микрофлоралары кездесетін биоорганикалық тыңайтқыш. 2018-2019 жылдар аралығында Отандық «БиоЭко-Гум» биопрепараты Қазақстанның 3 облысында Алматы, Ақмола, Түркістан облыстарында 579 гектардан астам алқапта қолданды. Орташа алғанда, осы биопрепаратты қолданғаннан кейін өнімнің қосылуы 30-45 пайызга арттыны анықталған. «БиоЭкоГум» биоорганикалық препаратын қошеттердің жерсінің арттыруда, қалемшелердің тез арада тамырлануы үшін қолдануға болатынын көптеген зерттеулер дәлелдеген, оларға макалаларды, патенттерді жатқызуға болады. «БиоЭкоГум» концентрлі гуминде биоорганикалық биопрепарат түсі қарақоңыр ерітіндіден тұрады, әртүрлі органикалық шикізаттар арнағы питомниктерінде компост құрттарымен өндөлген вермикулиттерден алынады және өсімдіктер үшін қолжетімді микро-, макроэлементтермен құнарландырылған. «БиоЭкоГум» клеткалық деңгейде өсімдік бойына сіңіп, олардың төзімділігіне, стреске бейімделуіне, өсуін жылдамдататын және өнімділігін арттыратын биоорганикалық биопрепарат.

Өсімдік пайдаланатын минералды заттар макроэлементтер және микроэлементтер түрінде сінірледі. Осы элементтердің әрқайсысы өсімдік организмінде белгілі бір функцияларды атқарады. Азот, күкірт, фосфор, калий элементтері жетіспегендеге көбінесе өсімдіктің жапырақтарында көрініс беретін хлороз ауруына ұшыратады; екпе қошеттердің өсуі тежеледі, ағаштың бұтакталуы азайып, ұзақ уақыт бойы жеміс түйіндері пайда болмайды, өсімдік әлсіз болып келеді [1-4]. Күкірт, магний, темір элементтері жетіспеген жағдайда шырша мен қылқан жапырақтылардың ұштары сарғайып, хлороз ауруына ұшырайды [5-6]. Марганец, мырыш жетіспеген кезде хлоротикалы таңбалар пайда болып өсімдіктің өсуі тежеледі сабактары шіриді [7-9]. Осыған орай орман тұқымбақтарында қазіргі таңда өсімдіктердің шығымын жогарылату үшін органикалық, органоминералды, бактериалды тыңайтқыштар, микротыңайтқыштар және өсімдіктердің өсуін жылдамдататын стимуляторларды қолдануды талап етіп отыр.

Қазіргі кезде минералды тыңайтқыштар өте қымбат болғандықтан, ал органикалық тыңайтқыштар жеткіліксіз болып келгендейтін, өсімдіктердің өсуі мен дамуының эффективті өсүді қарқындаушылары – гумин қышқылдары мен фульвоқышқылдары, яғни гуматтар мен фульваттардың Na , K , NH_4 тұздарының өте төмен концентрацияларындағы 0,001-0,0001 % қолданған тиімді болады. Бұл көрсеткіштер органикалық гуминде тыңайтқыштардың құрамында кездеседі. Тұқымбақтардағы маңызды агротехникалық шаралардың бірі өсімдіктерге биоорганикалық тыңайтқыштарды пайдаланғанда, топырақтың құнарлығы артып, егілетін өсімдік материалдарының минералдық қоректенуі жақсарып, өсімдіктердің көлеміне шаққандағы шығымының үлгаюы артады [10].

Көптеген зерттеулердің мәліметтері бойынша, өсімдіктің өсуін жылдамдататын PGPR бактериялардың негізінде гуминде биопрепараттарды өсімдіктерге пайдаланғанда, топырақтағы кездесетін коректік заттармен және макро-макроэлементтермен, PGPR бактериялары өзара әрекеттеседі. Соның нәтижесінде өсімдіктердің тұтынуына қажетті макро-макроэлементтерді қол жетімді түрге айналдырады, орман өсімдіктерінің жылдам өсуіне және абиотикалық факторларға төзімділік қасиеттерін арттыратындығы көрсетілген [11-15].

Осыған орай, топырақтың биологиялық белсенділігін арттыру бөліміндегі О.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимияғының зерттеу институтының микробиология зертханасында биоорганикалық тыңайтқыштардың құрамына кіретін PGPR бактериялары негізінде биологиялық агенттер ретінде питомниктердегі өсімдіктердің өсуін арттыратын, қошеттерді еккенде өсімдіктердің стреске төзімді қабілетін жақсартатын Отандық препарат өндірілуде. Биоорганикалық тыңайтқыштар орман тұқымбақтарының топырағы мен өсімдіктердің топырақтан қоректенуін жақсартып қана қоймай, сонымен қатар егу, өсімдік қошеттерін қазып алу нәтижесінде топырақтың құнарлығы едәуір төмендегендеге олардың құнарлылығын үздіксіз арттыратыны көптеген әдеби мәліметтерде көрсетілген. Отырызу материалын өсіру кезінде биотыңайтқыштарды қолдану қошеттердің өскінінің өсуін және тамыр жүйесінің жақсы дамуын күшейтеді. Биоорганикалық тыңайтқыштар экологиялық қауіпсіз және топырақтың әртүрлі көрсеткіштерін арттырады, сондай-ақ қоршаган

орта мен басқа да тірі организмдерге уақытша және ұзақ мерзімді қолайсыз өсерді болдырмауға мүмкіндік береді. Өсімдікті биоорганикалық тыңайтқыштармен өндегенде олардың өнімділігін жоғарылатып, топырақ ерозияға ұшырауының төмендеуіне себебін тигіздеді.

Бұл мақаламыздың ғылыми жаңалығы, алғашқы рет «Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының орман тұқымбақтарына ағаш өсімдіктерінің екпе көшеттері мен көшеттерді өсіру кезінде биоорганикалық тыңайтқыштардың тиімді технологиясы турақталды.

Зерттеу жұмысымыздың мақсаты – «Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының орман тұқымбақтарына биоорганикалық тыңайтқыштарды қолдану технологиясын зерттеу.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Биоорганикалық тыңайтқыштардың агрономдарға әсерін зерттеу бойынша тәжірибелік обьектілер, ағаш өсімдіктерінің екпе көшеттері мен көшеттерінің өсуі «Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалында орналасқан Қаскелең орман тұқымбағы алынды.

Зерттеу обьектісі ретінде: тиімді микробиологиялық мен макро-микроэлементтер негізінде жасалған Отандық «БиоЭкоГум» РГПР биоорганикалық тыңайтқыш алынды.

Қаскелеңдегі төменгі және жоғарғы орманды тұқымбақтарының топырақтарының микробтық биоценоздары зерттелді, селективті қоректік ортага топырақ суспензиясын егу әдісімен жүзеге асырылды. Микробоценоздардың құрамын зерттеу үшін мынадай тығыз қоректік орталар пайдаланылды: ЕРА (жалпы микробтардың жиілігін), тек құрамында корек көзі жоқ орта (олиготрофтар), *Actinomycete isolation agar* (актиномицеттер); *Sabouraud dextrose agar* (ашытқылар); *Pseudomonas agar* (псевдомонадалар); Чапека қоректі ортасында (санырауқұлақтар) жиілігі анықталды.

№ 1 қоректік ортасың құрамы – ЕРА: глюкоза – 10,0 – пептон, 5,0 – натрий хлориді, МПБ-1,5, ашытқы экстрактісі – 1,50, агар – 15,0;

№ 2 қоректік ортасың құрамы – Тек агарлы қоректі орта: агар-агар – 15,0; NaCl-10,0; pH 6,8-7,0;

№ 3 қоректік ортасың құрамы – *Actinomycete isolation agar*: казеин – 2,0, натрий хлориді – 4,0, Na_3PO_4 – 0,50, L-аспарагин – 0,10, MgSO_4 – 0,10, FeSO_4 – 0,001;

№ 4 қоректік ортасың құрамы – Чапека қоректі ортасы: сахароза – 30,0; NaNO_3 -2,0; KH_2PO_4 -1,0, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5; KCl – 0,5; $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 0,01; агар – 20,0.

Коректі орталар автоклавта 120°C температурада, қысымы 101,3 кПа 30 мин бойы залалсыздандырылды [16].

Іле Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі Ақсай орман тұқымбақтарының топырақтарына агрономиялық зерттеулер жасалды: жылжымалы фосфор – ГОСТ 26205-91; жалпы фосфор – ГОСТ 26261-84; жылжымалы калий – ГОСТ 26205-91; жалпы калий – ГОСТ 26261-84; жалпы гумус – Тюрин әдісі бойынша; жәніл гидролизденетін азот – Тюрин-Коновой; жалпы азот – ГОСТ 26107-84; кальций және магний – Аринушкин және модиф. Грабарова; натрий мен калий түздары – Каратаева және Маметова Грабарова модификация әдістері бойынша анықталған [17, 18].

Ағаш өсімдіктерінің көшеттерінің биометриялық көрсеткіштері өсімдіктерді биоорганикалық тыңайтқыштармен өндегеннен кейін анықталды. Тәжірибелік жұмыстарды қайталану аланы – 2 м². Тыңайтқыштарды салу, өсімдіктердің екпе көшеттерін отырғызу және өсімдіктерді өсіру сияқты агротехникалық іс-шаралар колмен жүргізілді. Тұқымбақтан 135 өрік (білктігі 30 см), 135 алма (білктігі 30) көшеттері қазылып алынды. Тәжірибе үш нұсқада жүргізіледі: 1-бақылау (биопрепаратты қоспай, сумен өнделеді); 2-БиоЭкоГум+PGPR; 3-БиоЭкоГум+макро – микроэлементтер. 2019 жылдың модельді тәжірибе сыйбасы бойынша өрік, алма көшеттеріне биоорганикалық тыңайтқыштарды қолдану арқылы модельді тәжірибеде өсіру үшін, жұмыстың үш варианты үш қайталанып алынды.

Тұқымбақтан 108 шырша (білктігі 11-14 см) көшеттері қазылып алынды. Тәжірибе төрт нұсқада жүргізіледі: 1-бақылау (биопрепаратты қоспай, сумен өнделеді); 2-БиоЭкоГум; 3-БиоЭкоГум+PGPR+микроағза негізіндегі ауруға қарсы биопрепарат+фитогармон; 4-микроағза негізіндегі ауруға қарсы препарат. Барлық технологиялық іс-шаралар орман питомниктерінде қабылданған отырғызу материалдарын өсіру технологияларына сәйкес орындалды.

Зерттеу нағижелері және оларды талдау

Іле Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі орман тұқымбақтарының топырақта-

рындағы микроорганизмдердің экологиялық-трофикалық топтарын зерттеу

Іле Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі орман питомниктерінің топырағын жақсарту және құнарлығын сақтап қалуда, микроорганизмдердің экологиялық-трофикалық топтарын зерттеу өте маңызды болып келеді. Зерттеу жұмысында азоттың органикалық түрлерін пайдаланатын аммонификаторлардың саны анықталды. Сонымен аммонификация процесіне

қатысадын бактериялардың *Bacillus* туысы және саңырауқұлақтардың *Aspergillus* туысына жататын түрлері анықталды. Ал, азоттың минералды түрлерін пайдаланатын актинобактериялар *Actinomycete isolation* ортасында анықталынды. Мақалада, Ақсай филиалының жоғарғы және төменгі орман тұқымбақтарының топырақ микроорганизмдерінің барлық экологиялық-трофикалық топтары кеңінен көрсетілген. Алынған деректер 1-кестеде келтірілген.

1-кесте – «Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының жоғарғы және төменгі орман тұқымбақтарының топырақ микроорганизмдерінің негізгі экологиялық-трофикалық топтарының сандық құрамы

Төменгі тұқымбақ					
Үлгілердің аталуы	Микроағзалардың сандық құрамы, ККБ/г почвы				
	ЖМС	Бациллус	Олиготрофты	Актиномицеттер	Саңырауқұлактар
АН-1	$(2,5\pm0,10)\cdot10^6$	$(2,6\pm0,10)\cdot10^5$	$(2,0\pm0,12)\cdot10^5$	$(5,6\pm0,14)\cdot10^5$	$(2,2\pm0,12)\cdot10^2$
Жоғарғы тұқымбак					
АВ-1	$(1,6\pm0,10)\cdot10^6$	$(1,6\pm0,10)\cdot10^5$	$(3,8\pm0,12)\cdot10^6$	$(4,0\pm0,14)\cdot10^6$	$(1,1\pm0,12)\cdot10^2$

«Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының жоғарғы орман тұқымбағында топырақ микроорганизмдерінің негізгі экологиялық-трофикалық топтарының сандық құрамында олиготрофты микроағзalардың басым екендігі тұрақталды. Бұл көрсеткіш топырақтың микроорганизмдер негізіне бай екенін көрсетеді.

Топырақтағы олиготрофтардың санының көрсеткіш деңгейінің сандық көрсеткіші төменгі тұқымбақта $2,0\cdot10^5$ және жоғарғы тұқымбақта $3,8\cdot10^6$ ККБ/г топырақта құратыны анықталды. Актиномицеттердің жалпы саны актиномицеттер үшін мамандалған қоректі ортада зерттелген. Актиномицеттер үшін мамандалған қоректі орталарда өсетін актиномицеттердің сандық құрамы төменгі тұқымбақта $(5,6\pm0,14)\cdot10^5$ жоғарғы тұқымбақта $(4,0\pm0,14)\cdot10^6$ ККБ/г топырақта анықталды. Әдеттегідей, саңырауқұлақтар топырақтағы микроорганизмдердің жалпы санының 10-20%, яғни $(2,2\pm0,12)\cdot10^2 - (1,1\pm0,12)\cdot10^2$ ККБ/г құрайды.

Мақаламызда, «Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының жоғарғы және төменгі орман тұқымбақтарының топырақ микроорганизмдерінің негізгі экологиялық-трофикалық топтарының сандық құрамы әртүрлі екендігі тұрақталды.

Іле Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі орман тұқымбақтарының топырағына агрохимиялық зерттеулерге талдаулар жасау

«Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының жоғарғы және төменгі орман тұқымбақтарының топырақтарының 2-кесте бойынша химиялық көрсеткіштерін талдасақ: жылжымалы фосфордың құрамы жоғарғы тұқымбақта 0-20 см қабатында Мачигина әдісі бойынша – 108 мг/кг (өте жоғары), ал төменгі тұқымбақта – 40 мг/кг (жоғары) құрайтыны анықталды; жалпы фосфордың құрамы жоғарғы тұқымбақта – 0,340% (жоғары), ал төменгі тұқымбақта – 0,212% (жоғары) құрайтыны анықталды; жалпы калийдің құрамы жоғарғы тұқымбақта Мачигина әдісі бойынша – 360 мг/кг (жоғары), ал төменгі тұқымбақта – 150 мг/кг (төмен) құрайтыны анықталды; гумустың құрамы жоғарғы тұқымбақта Тюрин әдісі бойынша – 7,44 % (жоғары) А горизонтында гумусты орташа екендігін көрсетеді, ал төменгі тұқымбақта – 2,89% (төмен) құрып, қара қоңыр топыраққа жататыны анықталды; кальцийдің құрамы мг-экв/100 гр. топырақ жоғарғы тұқымбақта – 24,50 (өте жоғары), ал төменгі тұқымбақта – 10,78 (жоғары) құрайтыны анықталды; магнийдің құрамы мг-экв/100 гр. топырақ жоғарғы тұқымбақта – 1,47 (орташа), ал төменгі тұқымбақта – 2,94 (жоғары) құрайтыны анықталды; және ғидролизденетін азоттың

құрамы мг/кг топырақ жоғарғы тұқымбақта – 47,6 (өте жоғары), ал төменгі тұқымбақта – 28,0 (жоғары) құрайтыны анықталды; Топырақтың құнарлығын көрсететін, топырақтың сіңіру қабілетіне топырақтұзуші процестердің маңызды ерекшеліктері мен көптеген қасиеттері байла-

нысты. Көптеген суды ұстайтын коллоидтер гидрофильді деп аталады. Оларға Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} қанықкан колloidтары жатады. Зерттеліп отырған объектілеріміздің топырақтары Ca^{++} , Mg^{++} колloidты тұздарына қанықкан екендігі зерттелді.

2-кесте – «Іле-Алатай мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының жоғарғы және төменгі орман тұқымбактарының топырақтарының химиялық анализі

№	Үлгінің аталуы	Терендігі, см	Жылжымалы фосфор, мг/кг	Жалпы фосфор, %	Жылжымалы калий, мг/кг	Жалпы калий, %	Гумус, %	Женіл гидролизденетін азот, мг/кг	Жалпы азот, %	мг-экв/100 гр. топырақ			
										Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+
1	AB-1	0-20	108	0,340	360	2,125	7,44	47,6	0,406	24,50	1,47	0,20	0,26
2	AH-2	0-20	40	0,212	150	2,625	2,89	28,0	0,182	10,78	2,94	0,20	0,18

Ағаш өсімдіктерінің екпелері мен көшеттеріне биоорганикалық тыңайтқыштардың тиімді мөлшерін қолдану

Биотыңайтқыштардың алма, өрік ағаш өсімдіктерінің екпе көшеттерінің өсуіне әсері, «Іле-Алатай мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай орман тұқымбағында модельді тәжірибе сыйбасы бойынша жасалды.

3-кесте – Биоорганикалық тыңайтқыштардың орман көшеттерінің өсуіне әсері, см

Аталуы		Бақылау	«БиоЭкоГум» PGPR	БиоЭкоГум+макро – микроэлементтер
Кәдімгі өрік (<i>Prunus armeniaca</i>)				
Көшеттердің биіктігі, см		$30 \pm 0,11$	$30 \pm 0,11$	$30 \pm 0,13$
Өскіндер пайда болғандағы ұзындығы, см		$36 \pm 0,12$	$45 \pm 0,12$	$41 \pm 0,12$
Жапырақ пайда болғандағы ұзындығы, см		$40 \pm 0,11$	$50 \pm 0,10$	$45 \pm 0,11$
Жапырактардың жаппай ашылу кезіндегі ұзындығы, см		$43 \pm 0,10$	$59 \pm 0,10$	$49 \pm 0,11$
Сабактарының бұталануы, дана		$22 \pm 0,10$	$30 \pm 0,11$	$20 \pm 0,13$
Сиверс алмасы (<i>Malus sieversii</i>)				
Көшеттердің биіктігі, см		$30 \pm 0,12$	$30 \pm 0,10$	$30 \pm 0,12$
Өскіндер пайда болғандағы ұзындығы, см		$34 \pm 0,14$	$45 \pm 0,11$	$40 \pm 0,10$
Жапырақ пайда болғандағы ұзындығы, см		$39 \pm 0,13$	$48 \pm 0,13$	$45 \pm 0,13$
Жапырактардың жаппай ашылу кезіндегі ұзындығы, см		$47 \pm 0,10$	$61 \pm 0,12$	$52 \pm 0,10$
Сабактарының бұталануы, дана		$8 \pm 0,12$	$17 \pm 0,10$	$9 \pm 0,11$

Бастапқы кезде кәдімгі өрік пен алманың көшеттерінің ұзындығы 30 см құрды.

3-кестеде көріп отырғандай, биоорганикалық тыңайтқыштардың алма, өрік ағаш өсімдіктерінің екпе көшеттерінің өсуіне әсерін фенологиялық талдаулар жасағанда кәдімгі өріктің бойының ұзындығы өскіндердің пайда болу фазасында

бақылау нысанымен салыстырғанда «БиоЭкоГум» PGPR препаратымен өндеген нысанында 25 %, ал БиоЭкоГум+макро-микроэлементтер 13 % артқаны байқалды. Жапырактардың жаппай ашылу фазасы кезінде кәдімгі өріктің бойының ұзындығы бақылау нысанымен салыстырғанда «БиоЭкоГум» PGPR препаратымен өндеген

нысанында 37 %, ал БиоЭкоГум+макро-микроэлементтер 13 % артқаны байқалды. Өрік өскінінің сабактарының ең көп бұталанған варианты «БиоЭкоГум» PGPR препаратымен өндегенде байқалды, бұта саны $30 \pm 0,11$.

Сиверс алмасының бойының ұзындығы өскіндердің пайда болу фазасында бақылау нысанымен салыстырғанда «БиоЭкоГум» PGPR препаратымен өндеген нысанында 32,0 %, ал БиоЭкоГум+макро-микроэлементтер 17,0 % артқаны байқалды. Жапырактардың жаппай ашылу фазасы кезінде алманың бойының ұзындығы бақылау нысанымен салыстырғанда «БиоЭкоГум» PGPR препаратымен өндеген нысанында – 29 %, ал БиоЭкоГум+макро-микроэлементтер 10,0 % артқаны байқалды.

3-кестедегі соңғы зерттеу көрінісінде Сиверс алмасының сабақ өскіндерінің ең көп

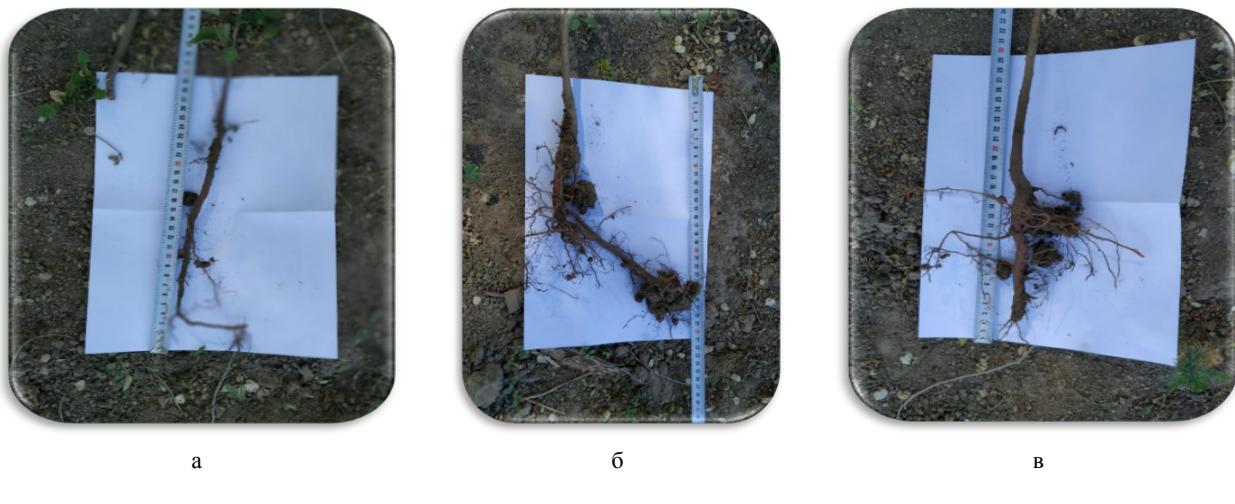
бұталанған варианты «БиоЭкоГум» PGPR препаратымен өндеген нысаны болды, бұта саны $17 \pm 0,11$, ал өріктे бұта саны $30 \pm 0,11$ көрсетті. Бұл дегеніміз, кейін осы бұтақталған сабактардан көп жеміс алуға мүмкіндік болатындығын тұрақтайды.

4-кестеде көріп отыргандай, биоорганикалық тыңайтқыштардың алма, өрік ағаш өсімдітерінің екпе көшеттерінің тамыр жүйесіне әсерін бақылау нысанымен салыстырғанда «БиоЭкоГум» PGPR және БиоЭкоГум+макро-микроэлементтер препараттарымен өндеген нысанында 13 % артқаны байқалды.

Сиверс алмасының тамырының ұзындығы нысанымен салыстырғанда «БиоЭкоГум» PGPR препаратымен өндеген нысанында 18,0 %, ал БиоЭкоГум+макро-микроэлементтер 1,0 % артқаны байқалды.

4-кесте – Биоорганикалық тыңайтқыштардың орман көшеттерінің тамыр жүйесіне әсері, см

Аталуы	Бақылау	«БиоЭкоГум» PGPR	БиоЭкоГум+макро-микроэлементтер
Кәдімгі өрік (<i>Prunus armeniaca</i>)			
Тамырының ұзындығы, см	$75 \pm 0,14$	$85 \pm 0,10$	$85 \pm 0,13$
Сиверс алмасы (<i>Malus sieversii</i>)			
Тамырының ұзындығы, см	$55 \pm 0,12$	$65 \pm 0,11$	$56 \pm 0,10$



1-сурет – Кәдімгі өріктің тамыр жүйесінің көрінісі:

а – бақылау; б – «БиоЭкоГум» PGPR; в – БиоЭкоГум+макро-микроэлементтер (төменгі тұқымбак)



2-сурет – Сиверс алмасының тамыр жүйесінің көрінісі:
а – бақылау; б – БиоЭкоГум+ЭМ +ЭМ; в – БиоЭкоГум+макро-микроэлементтер (төменгі тұқымбак)

Кәдімгі өріктің (*Prunus armeniaca*) және Сиверс (*Malus sieversii*) алмасының 1, 2-суретте көрсетілген тамыр жүйесінің көрінісі бақылау

нысандарына қарағанда, «БиоЭкоГум» PGPR препаратымен өндегендегі көрінісінде жақсы дамығаны байқалып тұр.



3-сурет – «БиоЭкоГум» PGPR
+микроағза негізіндегі ауруға қарсы
биопрепарат+фитогармон
(жоғарғы тұқымбак)



4-сурет – Биоорганикалық
тыңайтқыштармен өndелмегендегі
көрінісі
(жоғарғы тұқымбак)

Келтірілген 3- және 4-суреттерде қылқан жа-
пырақтылардың биоорганикалық препараттар-
мен өнделген көрінісінде өсімдіктердің жақсы
дамығаны байқалып тұр, ал биопрепараттармен
өндемеген суретте өсімдіктердің сарғайып со-
лып бара жатқаны байқалды. Өсімдік көшеттерін
еккен кезде стресті жағдайға ұшырамауының,
олардың алдын алу үшін, яғни көшеттерді
отырғызған кезде 1 тәулікке биоорганикалық
тыңайтқыштар ерітіндісінде салып қойғаннан

соң отырғызғанда, олардың стреске төзімді болатындығы айқындалды.

Корытынды

Топырактағы олиготрофтардың санының көрсеткіш деңгейінің сандық көрсеткіші төменгі тұқымбақта $2,0 \cdot 10^5$ және жоғарғы тұқымбақта $3,8 \cdot 10^6$ ККБ/г, ал актиномицеттердің жалпы саны төменгі тұқымбақта $(5,6 \pm 0,14) \cdot 10^5$ жоғарғы

тұқымбақта $(4,0 \pm 0,14) \cdot 10^6$ КҚБ/г топырақта анықталды. Саңырауқұлақтардың топырақтағы микроорганизмдердің жалпы санының 10-20%, яғни $(2,2 \pm 0,12) \cdot 10^2 - (1,1 \pm 0,12) \cdot 10^2$ КҚБ/г құрайды.

Сонымен зерттеу жұмысында «Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының жоғарғы және төменгі орман тұқымбақтарының топырақтарының микробтық жиілігі анықталынды.

«Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының жоғарғы орман питомнігінің топырақтарының химиялық көрсеткіштері мынадай болды: жылжымалы фосфордың құрамы жоғарғы тұқымбақта 0-20 см қабатында – 108 мг/кг (өте жоғары); жалпы фосфордың құрамы – 0,340% (жоғары), жалпы калийдің құрамы – 360 мг/кг (жоғары); гумустың құрамы – 7,44 % (жоғары). А горизонтында гумустың құрамы орташа екендігі анықталды, кальцийдің құрамы мг-экв/100 гр. Топыраққа шаққанда 24,50 (өте жоғары), магнийдің құрамы мг-экв/100 гр. Топыраққа шаққанда – 1,47 (ортаса); жеңіл гидролизденетін азоттың құрамы мг/кг топыраққа шаққанда – 47,6 (өте жоғары) құрайтыны анықталды;

«Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының төменгі тұқымбақтарының орман питомниктері филиалының

топырақтарының химиялық көрсеткіштері бойынша гумустың құрамы – 2,89% (төмен) екендігі анықталды.

Кәдімгі өріктің (*Prunus armeniaca*) бойының ұзындығы өскіндердің пайда болу фазасында бақылау нысанымен салыстырганда «БиоЭко-Гум» PGPR препаратымен өндеген нысанында 25 %, жапырақтардың жаппай ашылу фазасы кезінде 37 % артқаны анықталды.

Сиверс (*Malus sieversii*) алмасының бойының ұзындығы өскіндердің пайда болу фазасында бақылау нысанымен салыстырганда «БиоЭко-Гум» PGPR препаратымен өндеген нысанында 32,0 %, жапырақтардың жаппай ашылу фазасы кезінде алманың бойының ұзындығы 29 % артқаны байқалды.

Қаржыландыру көзі

Жұмыс 2019 жылы ҚР АШМ Орман шаруашылығы және жануарлар дүниесі комитетінің колдауымен бекітілген. Іле Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі РММ ғылыми зерттеулер басқармасының 2019-2023 жылдар аралығындағы жоспарындағы «Іле-Алатау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі» РММ орман питомниктерінде биоорганикалық тыңайтқыштарды қолданудың тиімді технологиясын әзірлеу» ғылыми тақырыбы бойынша жасалды.

Әдебиеттер

- 1 White P.J., Broadley M.R. Biofortifying crops with essential mineral elements // Trends Plant Sci. – 2005. – Vol. 10. – P. 586-593.
- 2 Голов В.И. Круговорот серы и микроэлементов в основных агроэкосистемах Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнавуна, 2004. – 316 с.
- 3 Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения. – Москва; Ленинград: Химия. – 1965. – 330 с.; ил. – 22 см.
- 4 Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов Мп, Си, Мо, В в южной части Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1973. – 302 с.
- 5 Сысо А.И. Улучшение минерального питания кормовых культур на торфяных почвах // Агрохимия. – 1992. – №9. – С. 95-105.
- 6 Измаилов С.Ф. Азотный обмен в растениях. – М., 1986. – 320 с.
- 7 Голов В.И., Тимофеева Я.О. Экологические функции почв и их реализация на примере железо-марганцевых конкреций // Вестн. КрасГАУ. – 2009. – № 5. – С. 16-19.
- 8 Ринькис Г.Я., Ноллендорф В.Ф. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами. – Рига: Зинатне, 1982. – 304 с.
- 9 Краткий справочник по удобрениям / Под ред. А. М. Артюшина, Л. М. Державина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1984. – 208 с.
- 10 Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
- 11 Yan N, Marschner P, Cao W, Zuo C, Qin W. Influence of salinity and water content on soil microorganisms // Int Soil Water Cons Res. – 2015. – Vol. 3, no. 4. – P. 316–323.
- 12 Zhang H, Kim M.S., Sun Y, Dowd S.E., Shi H, Paré P.W. Soil bacteria confer plant salt tolerance by tissue-specific regulation of the sodium transporter HKT1 // Mol Plant-Microbe Interact. – 2008. – Vol. 21. – P.737–744.
- 13 Erb T.J., Kiefer P., Hattendorf B., Günther D., Vorholt J. Is an arsenate-resistant, phosphate-dependent organism (англ.)// Science: journal. – 2012. – Vol. 337, no. 6093. – P.467-70.

- 14 Shah S., Li J., Moffat B.A., Glick B.R. Isolation and characterization of ACC deaminase genes from two different plant growth promoting rhizobacteria // Can J Microbiol. – 1998. – Vol. 44. – P.833–843.
- 15 Neveen B. Talaat Exploring Halotolerant Rhizomicrobes as a Pool of Potent Genes for Engineering Salt Stress Tolerance in Crops // Salinity Responses and Tolerance in Plants. – 2018. – Vol. 2. – P. 49-76.
- 16 Практикум по микробиологии / под ред. А.Н. Нетрусова. – М.: Academia, 2005. – С. 448-597.
- 17 ГОСТ 26205-91. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО.-Введ. 1993-07-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1992. – 27 с.
- 18 ГОСТ 26261-84. Методы определения валового фосфора и валового калия. – Введ. 1985-07-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1984. – 24 с.

References

- 1 White, P.J., Broadley, M.R. “Biofortifying crops with essential mineral elements.” Trends Plant Sci. 10, (2005): 586-593.
- 2 Golov, V.I. Krugovorot seryi i mikroelementov v osnovnyih agroekosistemah Dalnego Vostoka. [Cycle of sulfur and trace elements in the main agricultural ecosystems of the Far East.] Vladivostok: Dalnauka, 2004.
- 3 Katalyimov, M.V. Mikroelementyi i mikroudobreniya. [Micronutrients and micronutrient fertilizers.] Moskva, Leningrad, Himiya, 1965.
- 4 Ilin, V.B. Biogeohimiya i agrohimiya mikroelementov Mp, Si, Mo, V v yuzhnay chasti Zapadnoy Sibiri. [Biogeochemistry and agrochemistry of trace elements Mp, Si, To, B in the southern part of Western Siberia.] Novosibirsk, Nauka, 1973.
- 5 Syiso, A.I. “Uluchshenie mineralnogo pitanija kormovyih kultur na torfyanyih pochvah.” [“Improving the mineral nutrition of forage crops on peat soils .”] Agrohimiya, no.9 (1992): 95-105.
- 6 Izmailov, S.F. Azotnyiy obmen v rasteniyah. [Nitrogen metabolism in plants.] Moskva, 1986.
- 7 Golov, V.I., Timofeeva,O. “Ekologicheskie funktsii pochvi i ih realizatsiya na primere zhelezomargan – tsevyih konkret-siy.” [“Ecological functions of soils and their implementation on the example of ferromanganese nodules.”] Vestn. KrasGAU, no. 5 (2009): 16-19.
- 8 Artyushin, A. M. Artyushin, A. M. Kratkiy spravochnik po udobreniyam. [Fertilizer Quick Reference.] Moskva, Kolos, 1984.
- 9 Rinkis, G.Ya., Nollendorf, V.F. Sbalansirovannoe pitanie rastenij makro- i mikroelementami. [Balanced plant nutrition with macro- and microelements.] Riga, Zinatne, 1982.
- 10 Kabata-Pendias, A., Pendias, H. Mikroelementyi v pochvah i rasteniyah. [Trace elements in soils and plants.] M.:Mir, 1989.
- 11 Yan, N., Marschner, P., Cao, W., Zuo, C., Qin, W. “Influence of salinity and water content on soil microorganisms.” Int Soil Water Cons Res. no. 4 (2015): 316–323.
- 12 Zhang, H., Kim, M.S., Sun, Y., Dowd, S.E., Shi, H., Paré, P.W. “Soil bacteria confer plant salt tolerance by tissue-specific regulation of the sodium transporter HKT1.” Mol Plant-Microbe Interact. 21, (2008): 737–744.
- 13 Erb, T. J., Kiefer, P., Hattendorf, B., Günther, D., Vorholt, J. “Is an arsenate-resistant, phosphate-dependent organism.” Science: journal, no. 6093 (2012): 467-70.
- 14 Shah, S., Li, J., Moffat, B.A., Glick, .BR. “Isolation and characterization of ACC deaminase genes from two different plant growth promoting rhizobacteria.” Can J Microbiol. 44 (1998): 833–843.
- 15 Neveen, B. Talaat “Exploring Halotolerant Rhizomicrobes as a Pool of Potent Genes for Engineering Salt Stress Tolerance in Crops.” Salinity Responses and Tolerance in Plants 2 (2018): 49-76.
- 16 Praktikum po mikrobiologii [Microbiology Workshop.] [pod red. A.N. Netrusova.] M.: Academia, 2005.
- 17 GOST 26205-91. Opredelenie podvizhnyih soedineniy fosfora i kaliya po metodu Machigina v modifikatsii TsINAO. [Determination of mobile phosphorus compounds and potassium according to Machigin's modification.] M.: Gosstandart Rossii, Izd-vo standartov, 1992.
- 18 ГОСТ 26261-84. Metodyi opredeleniya valovogo fosfora i valovogo kaliya. [Methods for determination of gross phosphorus and gross potassium.] M.: Gosstandart Rossii, Izd-vo standartov, 1984.

¹А.А. Нуржанова , ²А.А. Мамирова ,
³V. Pidlisnyuk , ²Л.Б. Джансугурова 

¹Институт биологии и биотехнологии растений КН МОН РК, Казахстан, г. Алматы, e-mail: gen_asil@mail.ru

²Институт общей генетики и цитологии КН МОН РК, Казахстан, г. Алматы

³Университет Яна Евангелисты Пуркине, Чехия, г. Усти-над-Лабем

ПРОБЛЕМА СОЗ-ПЕСТИЦИДОВ В КАЗАХСТАНЕ И СПОСОБЫ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НОВОГО ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ФИТОРЕМЕДИАНТА *MISCANTHUS SINENSIS* (на примере Талгарского района)

Аннотация. В статье представлены данные о мониторинге территории бывших складов химических средств защиты растений (на примере, пос. Кызыл-Кайрат, Талгарский район, Алматинская область) и способности нового биоэнергетического вида *Miscanthus sinensis* к восстановлению загрязненных СОЗ-пестицидами почв. Установлено, что почва вокруг бывших складов загрязнена стойкими органическими пестицидами (ГХБ, α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, β -ГХЦГ, δ -ГХЦГ, ДДТ, 4.4'ДДЭ 2.4'ДДД, 4.4'ДДД, альдрин, гептакхлор, гексабромбензол, гептакхлорэпоксид, дельдрин, дибутилэндан, кельтан, метоксихлор, эндрин, эндрин альдегид, эндосульфан сульфат, эндосульфан, хлордан, хлорбензилат), концентрации которых превышали ПДК до 120 раз. Основными загрязнителями почвы были α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, δ -ГХЦГ, ДДТ, 4.4'ДДЭ, 2.4'ДДД, альдрин, дельдрин, эндрин, гептакхлорэпоксид, эндосульфан 1 и хлорбензилат. При выращивании *M. sinensis* на загрязненной СОЗ-пестицидами почве установлено, что растение обладает толерантностью (индекс толерантности 0.76); в результате адаптивной реакции ассимиляционного аппарата к действию загрязнителя происходит снижение содержания хлорофилла *a* и повышение вспомогательных пигментов – хлорофилла *b* и каротиноидов; растение обладает способностью экстрагировать из загрязненной почвы до 11 мкг метаболитов ДДТ. Полученные результаты свидетельствуют об адаптивности *M. sinensis* к высоким концентрациям СОЗ-пестицидов в почве и перспективе использования их при разработке технологии фиторемедиации.

Ключевые слова: СОЗ-пестициды, растение, продуктивность, фотосинтез, фиторемедиация, почва.

¹A.A. Nurzhanova *, ²A.A. Mamirova, V. Pidlisnyuk ³, ²L.B. Djansugurova

¹Institute of Plant Biology and Biotechnology, CS MES RK, Kazakhstan, Almaty, e-mail: gen_asil@mail.ru

²Institute of General Genetics and Cytology CS MES RK, Kazakhstan, Almaty

³Jan Evangelista Purkyne University, Czech Republic, Usti nad Labem

The problem of POP pesticides in Kazakhstan and methods for their restoration using the new high-efficient phytoremediant *Miscanthus sinensis* (on the example of the Talgar region)

Abstract. In the article has been shown results of the monitoring the territory of the former storehouse pesticides (village Kyzyl-Kairat, Talgar district, Almaty region) and assessing the remediation ability soil contaminated with POPs (persistent organic pesticides) of the new bioenergetic species *Miscanthus sinensis*. Established that the soil around the former warehouses contaminated with persistent organic pesticides (HCB, α -HCH, γ -HCH, β -HCH, δ -HCH, DDT, 4.4'DDE, 2.4'DDD, 4.4'DDD, aldrin, heptachlor, hexabromobenzene, heptachloroepoxide, deldrin, dibutylendan, keltan, methoxychlor, endrin, endrin aldehyde, endosulfan sulfate, endosulfan, chlordane, chlorobenzylate), the concentrations of which exceeded MAC up to 120 times. The main soil contaminants were pesticides – α -HCH, β -HCH, δ -HCH, DDT, 4.4'DDE, 2.4'DDD, aldrin, deldrin, endrin, heptachloroepoxide, endosulfan 1 and chlorobenzylate. *M. sinensis* was grown on the contaminated soil with pesticides was found that the plant has tolerance (tolerance index 0.76) and the ability to extract up to 11 μ g of DDT metabolites from contaminated soil. Revealed a decrease in the content of chlorophyll *a* and an increase of auxiliary pigments – chlorophyll *b* and carotenoids in the leaves, as the adaptive reaction of the photosynthetic apparatus to the action of a xenobiotic. The results obtained indicate on the adaptability of *M. sinensis* to

high concentrations of POPs pesticides in the soil and the prospect of their use for the development of phytoremediation technology.

Key words: POPs pesticides, plant, productivity, photosynthesis, phytoremediation, soil.

¹А.А. Нуржанова, ²А.А. Мамирова, ³V. Pidlisnyuk, ²Л.Б. Джансугурова

¹КР БФМ Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Қазақстан, Алматы қ., e-mail: gen_asil@mail.ru

²КР БФМ Жалпы генетика және цитология институты, Қазақстан, Алматы қ.

³Яна Евангелисты Пуркина Университеті, Чехия, Усти-над-Лабем қ.

Қазақстандағы ТОЛ-пестицидтер мәселесі және тиімділігі жоғары жаңа фиторемедиант *Miscanthus sinensis*-тің көмегімен оларды қайта қалпына келтіру әдістері (Талғар аймағының мысалында)

Анната. Мақалада өсімдіктерді химиялық заттардан қорғайтын бүрынғы қойманың аумағын мониторинг жүргізу кезіндегі мәліметтер алынған (Алматы облысы, Талғар ауданы, Қызыл-Қайрат ауылы) және M. sinensis-тің жаңа биоэнергетикалық түрлерінің қалпына келу қабілеті көрсетілген. Бақылау кезінде ТОЛ-пестицидтерімен (ГХБ, α-ГХЦГ, γ-ГХЦГ, β-ГХЦГ, δ-ГХЦГ, ДДТ, 4,4'-ДДЭ 2,4'-ДДД, 4,4'-ДДД, альдрин, гептахлор, гексабромбензол, гептахлор эпоксид, дельдрин, дибутилэндан, кельтан, метоксихлор, эндрин, эндрин альдегид, эндосульфан сульфат, эндосульфан, хлордан, хлорбензилат) ластанғандығы, олардың концентрациясы ШРК-дан 120 есе асып кеткендігі анықталды. Топырақтың негізгі ластаушылары – α-ГХЦГ, β-ГХЦГ, δ-ГХЦГ, ДДТ, 4,4'-ДДЭ, 2,4'-ДДД, альдрин, дельдрин, эндрин, гептахлорэпоксид, эндосульфан 1, хлорбензилат болғандығы көрсетілді. ТОЛ-пестицидтермен ластанған топырақта M. sinensis-ті өсіру кезінде өсімдіктің төзімділік қабілетіне ие екендігі (төзімділік индексі 0.76) және ластанған топырақтан DDTның 11 мкг метаболиттерін бөлу мүмкіндігі бар екендігі анықталды; бейімделу реакциясын зерттеу кезінде, жапырақтардағы хлорофилл a мөлшерінің төмендеуі және көмекші пигменттердің – хлорофилл b және каротиноидтардың үлес салмағының жоғарылауы анықталды.

Алынған нәтижелер жоғары деңгейде ТОЛ-мен ластанған жерлерді тазарту үшін M. sinensis пайдаланудың тиімділігін көрсетеді.

Тұйін сөздер: ТОЛ-пестицидтер, өсімдік, өнімділік, фотосинтез, фиторемедиация, топырақ.

Введение

Загрязнение почвы СОЗ-пестицидами является одной из важных экологических проблем в мире, Казахстане ввиду их токсичности и угрозы для человеческой жизни и окружающей среды. Широкое производство, крупная закупка пестицидной продукции правительствами, плохое управления запасами, нежеланием вносить изменения и использование их после запрета к применению привело к их накоплению. Тонны устаревших пестицидов накапливаются во всем мире и представляют опасность для здоровья человека и окружающей среды как на местном, так и на глобальном уровне [1]. Значительное количество устаревших пестицидов входит в группу СОЗ и вызывает особую обеспокоенность из-за их токсичности, стойкости, переноса на большие расстояния и накопления в жировых тканях людей и животных [2, 3]. Устаревшие запасы пестицидов не только представляют опасность для здоровья населения и окружающей среды, но также могут загрязнять природные ресурсы и препятствовать социально-экономическому развитию [4]. По данным International HCN & Pesticides Association, точное количество устаревших пестицидов в

странах бывшего Советского Союза, в том числе Казахстане, не установлено и сильно различается [5]. По данным IPEN, в Казахстане имеются запасы СОЗ-содержащих пестицидов, а также загрязненные территории. Очаги загрязнения почв отходами пестицидов, принадлежащих к СОЗ, многочисленны и распределены хаотично по всей территории страны. Инвентаризацией пестицидов со свойствами СОЗ охвачено только 20% территории страны [6].

СОЗ – это группа токсичных химических веществ, которые скапливаются в окружающей среде, аккумулируются в жировых тканях живых организмов и человека, нанося непоправимый ущерб здоровью. СОЗ-ы не разрушаются в окружающей среде в течение длительного времени, переносятся по воздуху и с водными массами на большие расстояния, далеко от первоначального источника загрязнения [7]. Согласно Стокгольмской конвенции к СОЗ относятся 12 химических веществ, из них 9 хлорорганических пестицидов, а именно: ДДТ, альдрин, дельдрин, эндрин, хлордан, гептахлор, мирекс и токсафен. Список СОЗ постоянно обогащается новыми веществами, например, на четвертом совещании Конференции Сторон,

состоявшемся в 2009 году, были включены 9 дополнительных химических веществ, из них 5 пестицидов (хлордекан, α -гексахлорциклогексан, β -гексахлорциклогексан, линдан, пентахлорбензол), а в 2015 году в список были включены бромированные антиpirены и связанные с ними предшественники в качестве перфторированных алкилированных веществ [5]. Согласно Стокгольмской конвенции, вещества, отнесенные к СОЗ, должны быть уничтожены [2].

Одним из эффективных методов очистки почв, загрязненных неорганическими и органическими загрязнителями, в том числе устаревших пестицидов, является сжигание их в специальных высокотемпературных котлах. Однако этот метод требует больших капиталовложений. Применение технологии фиторемедиации является многообещающим, поскольку этот подход может удовлетворить требования очистки и достаточно рентабелен с экономической точки зрения. Фиторемедиационный метод обусловлен применением растительного материала для накопления, деградации или стабилизации загрязнителей окружающей среды в почве, отложениях, поверхностных или подземных водах [9-12]. Выбор растений по этой технологии определяется их способностью транспортировать воду на поверхность почвы путем суммарного испарения, расщеплять загрязняющие вещества с помощью ферментов. Успех фиторемедиации зависит от различных факторов и, прежде всего, от специфических, генетически определенных свойств растений: проявлять устойчивость и способность к накоплению металлов и формировать большую биомассу [11, 12].

Для рационального использования почв, загрязненных ксенобиотиками, привлекает внимание высокопродуктивный биоэнергетический многолетний вид *Miscanthus*. Использование *Miscanthus sinensis* Anders (мискантус) для фиторемедиации имеет ряд преимуществ. Это многолетнее биоэнергетическое растение является промышленно перспективным целлюлозо-содержащим сырьем для производства целлюлозы. Данный вид, в связи с морозостойкостью и высокой урожайностью сухой биомассы в Сибири активно рассматривается как новый для России сырьевой источник целлюлозы [13]. В настоящее время вид *M. sinensis* исследователи всего мира рассматривают в качестве перспективного промышленно значимого целлюлозо-содержащего сырья для производства целлюлозы, биотоплива и химикатов из-за высокой их продуктивности, с целью сбережения лесного богатства [14, 15].

Растения мискантуса образуют рыхлую дернину с ползучими корневищами (ризомы). Ризомы зимуют в почве, а весной дают новые побеги, в результате происходит постепенная колонизация пространства. Процесс производства практически не требует удобрений и пестицидов и, кроме того, не истощает землю [16]. Важным качеством *M. sinensis* является способность произрастать на маргинальных и заброшенных залежных землях, на которой сохраняет свою продуктивность: на нейтральной и кислотно-сульфатной почве при pH – 4-6 с высоким уровнем алюминия [17], также на песчаной и суглинистой почве почве с высоким содержанием органических загрязнителей при pH – 5,5-7,5 [14]. Коммерческий интерес к мискантусу из года в год возрастает, так как выращивание их на деградированных загрязненных ксенобиотиками землях позволяет восстанавливать загрязненные участки и одновременно получать биомассу для производства целлюлозы [18].

Стратегия данного исследования заключалась в мониторинге территории бывшего хранилища химических средств защиты растений и оценке ремедиационной способности нового биоэнергетического вида второго поколения *M. sinensis*.

Материалы и методы

Для постановки эксперимента в качестве почвенной культуры использовали загрязненную почву из территории бывших хранилищ пестицидов (Талгарский район, пос. Кызыл-Кайрат) и незагрязненную почву (отобрана на расстоянии 2 км от источника загрязнения) в качестве контроля. Загрязненную и незагрязненную почву просеивали через сито (3 мм), а затем тщательно перемешивали. Каждый горшок был первоначально заполнен дренажом (массой 1 кг), песком (массой 1 кг) и почвой (массой 3 кг), его общая масса была 5 кг. Ризомы *M. sinensis* были посажены в каждый горшок. Эксперимент проводился в трех повторностях.

Посадку *M. sinensis* производили в один и тот же день, растение каждое утро поливали проточной водой. После окончания вегетационного периода растения вынимали из горшков и 4 раза промывали водой. Далее измеряли длину корневой системы, высоту надземной части растений; кроме того, определяли биомассу.

Концентрации 23 СОЗ наименований (ГХБ, α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, β -ГХЦГ, δ -ГХЦГ, ДДТ, 4,4'-ДДЭ, 2,4'-ДДД, 4,4'-ДДД, альдрин, гептахлор, гексабромбензол, гептахлорэпоксид, дельдрин,

дибутилэндан, кельтан, метоксихлор, эндрин, эндрин альдегид, эндосульфан сульфат, эндосульфан, хлордан, хлорбензилат) определяли газовой хроматографией с масс-спектрометрическим детектированием 7890A/5973N (Agilent, США), оснащенной автосамплером Combi-PAL (CTC Analytics AG, Швейцария).

Все экспериментальные данные статистически обрабатывали общепринятыми методами, построение графиков, диаграмм проводили после обработки данных, с использованием компьютерной программы «Microsoft Excel». Суммарный показатель загрязнения рассчитывали по общепринятой методике. Математически обработанные результаты приводили в виде $M \pm SE$, где M – среднее арифметическое, SE – стандартное отклонение. Достоверность различий сравниваемых значений доказывали с использованием критерия Стьюдента с учетом уровней значимости (p), вычисленных для двух сравниваемых значений.

Коэффициент биоаккумуляции и коэффициент транслокации являются широко используемыми параметрами для характеристики процесса фиторемедиации загрязненных почв с помощью растений [19], которые можно разделить на три категории в зависимости от этих параметров: аккумулятор, эксклюдер и индикатор. Значение коэффициента биоаккумуляции (КБА) отражает способность растения поглощать загрязнители из почвы и транслоцировать элементы из почвы через корневую систему в надземную часть растительного организма. Коэффициент биоаккумуляции рассчитывали, как отношение содержания загрязнителя в надземных органах (стебель, листья) к валовому содержанию его в почве [20]. Коэффициент транслокации (КТ) рассчитывали, как отношение концентрации загрязнителя в надземной части, стебле и листьях к концентрации их в корне [21].

Результаты и их обсуждение

Мониторинговые исследования

На окраине поселка Кызыл-Кайрат у подножья горы находится бывшее хранилище химических средств защиты растений склада (рисунок 1).

По официальным данным Территориального управления Талгарского района, на территории склада до 1980 года находился инсектицид 12% ГХЦГ. При инвентаризации территории склада установлено, что устаревших пестицидов на территории нет. Хроматографический анализ пока-

зал, что почва вокруг территории бывшего склада загрязнена СОЗ-пестицидами (таблица 1). Общее содержание СОЗ в почве составила 120 569 мкг/кг. Основными загрязнителями почвы были 12 СОЗ-наименованиями (α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, δ -ГХЦГ, ДДТ, 4,4'-ДДЭ, 2,4'-ДДД, альдрин, дельдрин, эндрин, гептахлорэпоксид, эндосульфан 1, хлорбензилат). Например, концентрация 4,4'-ДДД превышали ПДК до 111 раз (11434 ± 7302 мкг/кг), ДДТ – до 100 ПДК (10023 ± 2471 мкг/кг). Высокие концентрации СОЗ-пестицидов в почве доказывают, что территория бывшего хранилища пестицидов является опасным источником для окружающей среды, человека.

Физиологические и ремедиационные параметры M. sinensis на СОЗ-загрязненной почве

Физиологические характеристики *M. sinensis* определяли в тепличных условиях. Установлено, что растение проходит полный цикл жизни как на СОЗ-загрязненной, так и незагрязненной почве (рисунок 2, таблица 2). Выявлено, что СОЗ-пестициды оказывали незначительное влияние на динамику роста и развития *M. sinensis* в течение вегетационного периода. Средняя высота растений, произрастающих на загрязненной почве, в период уборки достигала $45,82 \pm 0,46$ см (контроль $48,23 \pm 0,31$ см). При этом масса надземной части растительного организма снижалась относительно контроля до 23% (при $p < 0,001$, разность достоверна при 99% уровне вероятности относительно контроля). При этом следует отметить, что при произрастании мискантуса на загрязненной почве длина и масса корневой системы статистически значимо возрастили на 11% и 15% соответственно (при $p < 0,001$, разность достоверна при 99% уровне вероятности относительно контроля) по сравнению с контролем, что свидетельствует об ответной реакции растения к СОЗ-пестицидам (таблица 2).

Одним из важных показателей устойчивости растительного организма к токсикантам является индекс толерантности. Индекс толерантности подсчитали, как отношение надземной биомассы растений, произрастающих на загрязненной почве, к надземной биомассе растений, произрастающих на незагрязненной почве. Значение индекса толерантности ≥ 1 свидетельствует об устойчивости растений к ксенобиотикам [22]. Выявлено, что при произрастании *M. sinensis* на СОЗ-загрязненной почве индекс толерантности ближе к значению 1, и равен 0.76, что свидетельствует об относительной устойчивости растения к пестицидам.

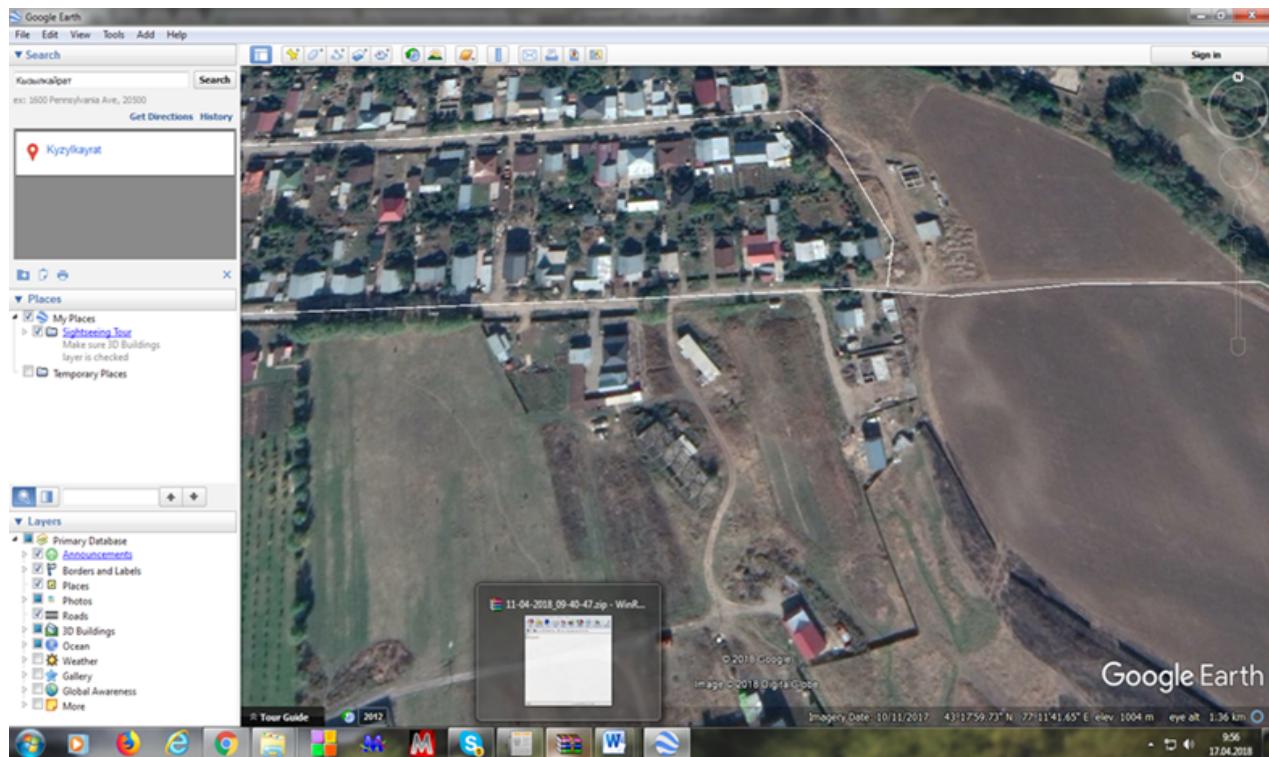


Рисунок 1 – Карта-схема расположения склада в поселке Кызыл-Кайрат

Таблица 1 – Содержание СОЗ в почве вокруг бывших хранилищ пестицидов (Кызылкайрат, Талгарский район, Алматинская область)

СОЗ	ПДК, мкг/кг	Остаточное количество СОЗ, мкг/кг	
		2018	2019
СОЗ-пестициды			
α-ГХЦГ	100	230 ± 59	132 ± 30
γ-ГХЦГ	100	48 ± 27	<0.1
β-ГХЦГ	100	32061 ± 12669	<0.1
δ-ГХЦГ	100	10023 ± 2471	2213 ± 762
ДДТ	100	777 ± 292	95 ± 43
4,4'-ДДЭ	100	14072 ± 5239	124 ± 50
2,4'-ДДД	-	11434 ± 7302	<0.1
4,4'-ДДД	100	<0.1	<0.1
Альдрин	2,5	2134 ± 477	<0.1
Дельдрин	0,5	1087 ± 198	<0.1
Кельтан	100	45 ± 19	<89
Эндрин	1	488 ± 52	< 32
Гептакхлор	50	<0.1	<0.1
Хлордан	100	22 ± 6	<34
ГХБ	500	253 ± 163	<0.1
Хлорорганические пестициды			
Гексабромбензилат	-	118 ± 76	<0.1

Продолжение таблицы 1

СОЗ	ПДК, мкг/кг	Остаточное количество СОЗ, мкг/кг	
		2018	2019
Гептахлорэпоксид	50	44085 ± 17335	<55
Дибутилэндан	-	5 ± 2	<0.1
Метоксихлор	1600	25 ± 16	<23
Эндрин альдегид	-	67 ± 14	<0.1
Эндосульфан сульфат	-	179 ± 37	<215
Эндосульфан 1	100	3029 ± 1192	<183
Эндосульфан 2	100	201 ± 29	<0.1
Хлорбензилат	20	435 ± 81	<35

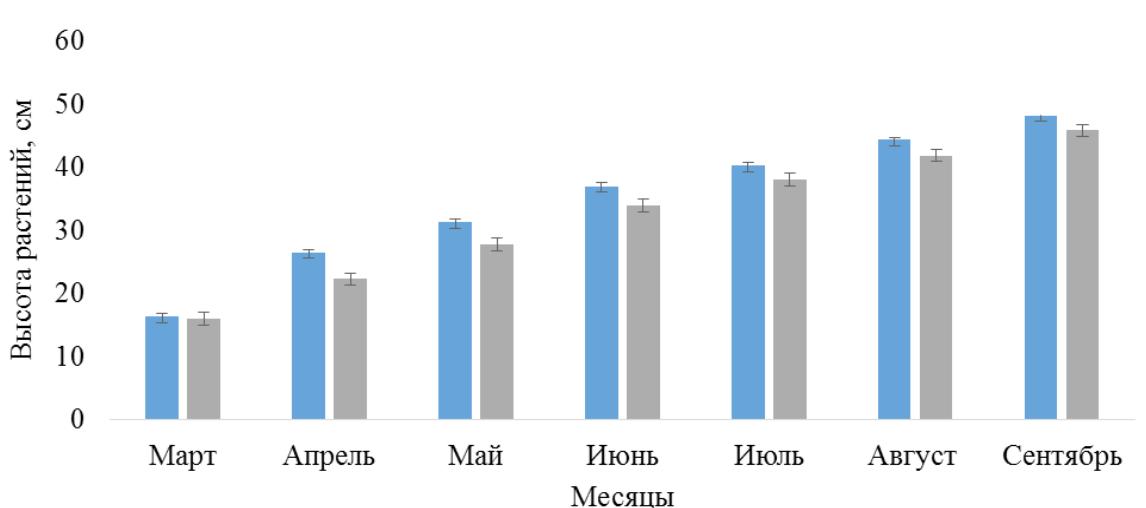


Рисунок 2 – Динамика роста и развития *M. sinensis*, произрастающих на СОЗ-загрязненной и незагрязненной почвах, в течение вегетационного периода

Таблица 2 – Морфологические показатели *M. sinensis*, произрастающих на СОЗ-загрязненной и незагрязненной почвах

Образцы	Незагрязненная почва	Загрязненная почва
Высота растений, см	48,23 ± 0,31	45,82 ± 0,46
Длина корня, см	16,47 ± 0,23**	18,25 ± 0,33
Масса надземной биомассы, г	7,53 ± 0,21**	5,79 ± 0,17
Масса корня, г	4,96 ± 0,20**	5,80 ± 0,12

Примечание: Вероятность различия между контрольным и экспериментальным вариантами, оцененными по t-критерию Стьюдента: ** 0,001 < p < 0,01. Повторность трехкратная (n = 3).

Маркерами антропогенного воздействия на физиологические процессы растительного организма являются соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* и суммы хлорофиллов к каротиноидам. При загрязнении среды первое соотношение уменьшается, а второе – наоборот, по-

вышается [23]. Основным фотосинтетическим пигментом растений является хлорофилл *a*. Уменьшение содержания хлорофилла *a* в листьях при стрессовом воздействии ионов тяжелых металлов, и увеличение доли вспомогательных пигментов – хлорофилла *b* и каротиноидов

рассматривают как адаптивную реакцию ассимиляционного аппарата к действию ксенобиотика [24]. В связи с этим, для оценки устойчивости *M. sinensis* к СОЗ-пестицидам нами изучено содержание пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов) в листьях растительного

организма и их соотношение. Установлено, что соотношение хлорофилла *a* и *b* и соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам в листьях *M. sinensis*, произрастающей на загрязненной и незагрязненной почвах, различаются между собой (таблица 3).

Таблица 3 – Соотношение пигментов в листьях *M. sinensis*, произрастающей на СОЗ загрязненной и незагрязненной почвах в условиях теплицы

Варианты опыта	<i>C a+b</i> (мг г ⁻¹)		<i>Ca/Cb</i>		<i>Ca+b/Ccar</i>	
	(M±SE)	% к контролю	(M±SE)	% к контролю	(M±SE)	% к контролю
Незагрязненная почва	22.68±0.10	100	4.17±0.10	100	4.12±0.10	100
Загрязненная почва	20.19±0.10	89	4.45±0.10	107	3.94±0.10	95

Общее содержание хлорофиллов *a* к *b* увеличилось на 7%, а соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам, наоборот, снизилось на 5% относительно контроля. При этом общее содержание хлорофиллов *a* и *b* снизилось на 11% относительно контроля. Вероятно, изменения пигментов в листьях растений связаны

с естественным механизмом защиты от СОЗ-пестицидов. Согласно литературным данным, одним из механизмов адаптации растений загрязнителям является изменение активности ряда ферментативных и неферментативных компонентов антиоксидантной защиты [25, 26].

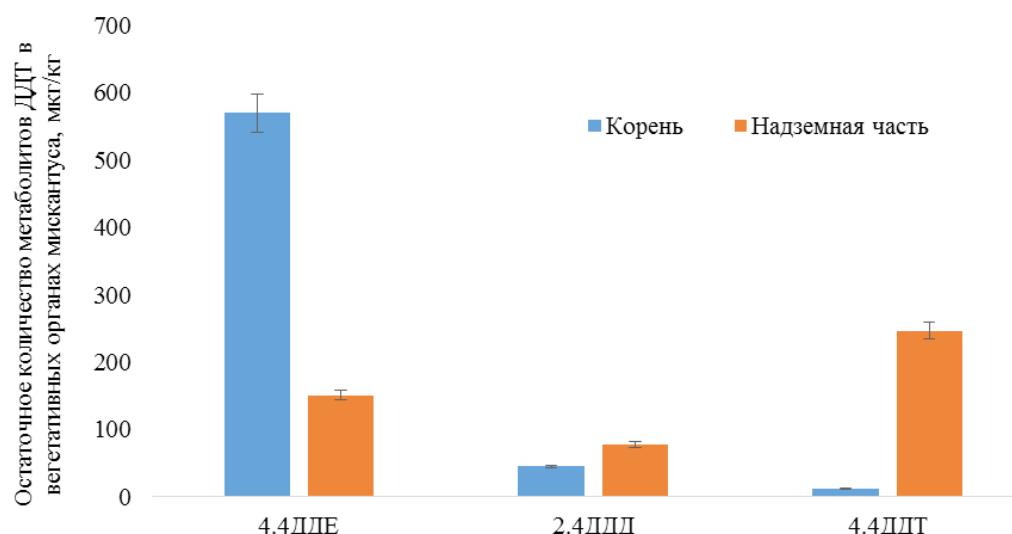


Рисунок 3 – Остаточное количество СОЗ-пестицидов в вегетативных органах *M. sinensis*

Для оценки ремедиационной способности *M. sinensis* загрязненной СОЗ-пестицидами почву оценили остаточное количество пестицидов в вегетативных органах и подсчитали коэффициент биоаккумуляции (КБА) и транслокации

(КТ). Значение КБА отражает способность растения поглощать загрязнители из почвы и способности транслоцировать элементы из почвы через корневую систему в надземную часть растительного организма. В наших исследованиях

отмечено, что растение обладает способностью накапливать СОЗ-пестициды из загрязненной почвы (рисунок 3).

Установлено, что *M. sinensis* накапливает в вегетативных органах 1103 мкг/кг метаболитов ДДТ, превышая ПДК до 55 раз (ПДК метаболитов ДДТ в растениях 20 мкг/кг). При подсчете фитоэкстракции метаболитов ДДТ в вегетативных органах растений относительно биомассы установлено, что *M. sinensis* экстрагирует из загрязненной почвы до 11 мкг пестицидов. Выявлено, что метаболит 4,4'-ДДЕ накапливается в основном в корневой системе, а метаболиты 2,4'-ДД и 4,4'-ДДТ – надземной части растительного организма. По отношению к высокогидрофобному метаболиту 4,4'-ДДЕ *M. sinensis*, как эксклюдер (КБА, КТ ≤ 1) накапливает их исключительно в корневой системе, а по отношению к метаболитам 2,4'-ДД и 4,4'-ДДТ – аккумулятор (КБА, КТ ≥ 1).

Итак, анализируя предварительные данные о возможности использования представителей рода мискантус в фиторемедиационной технологии загрязненных почв, выявлено, что вид *M. sinensis* в первый год вегетации обладает редемиационной способностью.

Заключение

Почва из территории бывшего хранилища химических средств защиты растений (пос. Кызыл-Кайрат, Талгарский район Алматинская область) загрязнена СОЗ-пестицидами, концентрации

которых превышают ПДК в десятки-сотни раз. Почва загрязнена в основном изомерами ГХЦГ, метаболитами ДДТ, альдрином, дельдрином, эндрином, гептахлорэпоксидом, эндосульфаном 1 и хлорбензилатом. Данные участки представляют экологическую опасность для окружающей среды, человека. Для восстановления загрязненной СОЗ-пестицидами почвы рекомендуется новый фиторемедиант *M. sinensis*, так как растение обладает способностью произрастать на почве при высокой концентрации СОЗ-пестицидов (до 120 ПДК. ПДК в почве 100 мкг/кг) и экстрагировать из загрязненной почвы до 11 мкг метаболитов ДДТ. Индекс толерантности равен 0.76, что свидетельствует об их относительной устойчивости растения к пестицидам. Следует заметить, что в Алматинской области находится 10 бывших хранилищ пестицидов с уровнем загрязнения почвы вокруг территории метаболитами ДДТ в концентрации 2 ПДК [27]. Выращивание биоэнергетического вида *M. sinensis* представляет интерес не только для восстановления почвы вокруг территории бывшего хранилища устаревших пестицидов, но и для использования их для производства целлюлозы.

Источник финансирования исследований:
Работа выполнена при поддержке программы МОН РК BR05236379 «Комплексная оценка влияния неутилизированных и запрещенных к использованию пестицидов на генетический статус и здоровье населения Алматинской области».

Литература

- 1 FAO. A new deal to rid Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia of obsolete pesticides. – 2012. <http://www.fao.org/news/story/en/item/134629/icode>.
- 2 UNEP. The hazardous Chemicals and Waste Conventions. WHO/UNEP/FAO. 4 p. Available at: <http://www.pops.int/documents/background/hewc.pdf>. Accessed March 5, 2013.
- 3 De Lurdes Dinis M, Fiúza A. Exposure assessment to hazardous pesticides- strategies to reduce human and environmental risks // In: Environmental Security Assessment and Management of Obsolete Pesticides in Southeast Europe. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Eds Simeonov L, Macaev F, Simeonova B, – Springer, Netherland, 2012. – P.69-84
- 4 Eqani S.A., Malik R.N., Cincinelli A, Zhang G, Mohammad A, Qadir A, Rashid A, Bokhari H, Jones K.C., Katsoyiannis A. Uptake of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) by river water fish: the case of River Chenab // Science of the Total Environment. – 2013. – Vol. 450-451. – P. 83-91.
- 5 Weber R., Schlumpf M., Nakano T., Vijgen J. The need for better management and control of POPs stockpiles // Environmental Science and Pollution Research. – 2015. – Vol 22, № 19. – P. 14385-14390.
- 6 Обзор о выполнении обязательств Республики Казахстан по Стокгольмской конвенции о СОЗ. Аналитическое экологическое агентство «Greenwomen». 2018. – 131 с.
- 7 Buccini, J. The development of a global treaty on persistent organic pollutants (POPs). In Persistent organic pollutants. – Springer: Berlin, Heidelberg, 2003. – P. 13-30.
- 8 UNEP. The hazardous Chemicals and Waste Conventions. WHO/UNEP/FAO Available at: <http://www.pops.int/documents/background/hewe.pdf>, 2013.

- 9 US EPA. National Water Quality Inventory: 1998 Report to Congress. EPA841-F00-006. – U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. June. 2000.
- 10 White P.M., Wolf D.C., Thoma G.J., Reynolds C.M. Phytoremediation of alkylated polycyclic aromatic hydrocarbons in a crude oil-contaminated soil // J. Water, Air, and Soil Pollution. – 2006. – Vol. 169, № 1-4. – P.207-220.
- 11 Kelsey J.W., Colino A., Koberle M., White J.C. Growth conditions impact 2,2-bis (p-chlorophenyl)-1,1-dichloroethylene (p,p'-DDE) accumulation by Cucurbita pepo // International Journal of Phytoremediation. – 2006. – Vol. 8, № 3. – P. 261-271.
- 12 Zeeb B.A., Amphlett J.S., Rutter A., Reimer K.J. Potential for phytoremediation of polychlorinated biphenyl-(PCB)-contaminated soil // International Journal of Phytoremediation. – 2006. – Vol. 8, № 3. – P. 199-221..
- 13 Shumny V.K., Veprev S.G., Nechiporenko N.N., Goryachkovskaya T.N., Slynko N.M., Kolchanov N.A., . Peltek S.E. A new form of Miscanthus (Chinese silver grass, Miscanthus Sinensis Andersson) as a promising source of cellulosic biomass // Advances in Bioscience and Biotechnology. – 2010. – Vol. 1. – P.167-170.
- 14 Jodice R. Technical assistances for the development and improvement of technologies, methodologies and tools for enhanced use of agricultural biomass residues. Report. 2010. Italy, Serbia. – 53 p.
- 15 Best practice guidelines. Applicants to DEFRA'S Energy Crops Scheme – Final report for DEFRA projects are available from DEFRA Chief Scientist's Group 1A Page Street London. – 2001. – 17 p.
- 16 Heaton E.A., Dohleman F.G., Miguez A.F., Juvik J.A., Lozovaya V., Widholm J., Zabotina O.A., Mcisaac G.F., David M.B., Voigt T.B., Boersma N.N., Long S.P. Miscanthus: a promising biomass crop // Advances in Botanical Reseash. – 2010. – Vol. 56. – P. 75-137.
- 17 Han M., Kim Y., Koo B.C, Choi G.W. Bioethanol production by Miscanthus as a lignocellulosis biomass: focus on high efficient conversion to glucose and ethanol // BioResources. – 2011. – Vol. 6. – P.1939-1953.
- 18 Pidlisnyuk B., Erickson L., Kharchenko S., Stefanovska T. Sustainable Land Management: Growing Miscanthus in Soils Contaminated with Heavy Metals // Journal Environment Protection, Special Issue in Environmental Remediation. – 2014. – Vol. 5. – P. 723-730.
- 19 Zaier H., Ghnaya T., Lakhdar A., Baioui R., Ghabricle R., Mnasri M., Sghair S., Lutts S., Abdelly Chendy. Comparative study of Pb-phytoextraction potential in Sesuvium portulacastrum and Brassica juncea: Tolerance and accumulation // Journal of Hazardous Material. – 2010. – Vol.183, № 1-3. – P. 609-615.
- 20 Amina H., Araina B.A., Abbasi M.S., Jahangir T.M., Amind F. Comparative study of Zn-phytoextraction potential in guar (Cyamops tetragonoloba L.) and sesame (Sesamum indicum L.): tolerance and accumulation // GeoloGy, ecoloGy, and landscapes. – 2018. – Vol. 2, №1. – P. 1-10
- 21 Zu Y.Q., Li Y., Chen J.J., Chen H.Y., Qin L., Schwartz C. Hyperaccumulation of Pb, Zn, and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China // Journal Environment International. – 2005. – Vol 31, № 5. – P. 755–762.
- 22 Audet P., Charest C. Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective // Journal Environmental Pollution. – 2007. – Vol. 147, №1. – P. 231–237.
- 23 Вяль Ю.А., Дюкова Г.Р., Леонова И.Н., Хрянин В.Н. Адаптация фотосинтетического аппарата подроста широколиственных деревьев в условиях города // Физиология растений. – 2007. – Т. 54, № 1. – С.61-72.
- 24 Кириенко Н.Н., Терлеева П.С. Влияние техногенного загрязнения территории на содержание пигментов в листьях лекарственных растений //www.kgau.ru/img/konferenc2009/32/doc.
- 25 Кузнецов В. В., Дмитриева Г.А. Физиология растений: Учебник. – М.: Высш. шк., 2006. – 742 с.
- 26 Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений. – СПб: Изд-во СПб ун-та, 2002. – 244 с.
- 27 Nurzhanova A., Kalugin S., Zhambakin K. Obsolete pesticides and application of colonizing plant species for remediation of contaminated soils in Kazakhstan // Environmental Science and Pollution Research. – 2013. – Vol. 20, №4. – P. 2054-2063.

References

- 1 FAO. A new deal to rid Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia of obsolete pesticides. – 2012. <http://www.fao.org/news/story/en/item/134629/icode>. April 12, 2012.
- 2 UNEP. The hazardous Chemicals and Waste Conventions. WHO/ UNEP/ FAO. 4 p. Available at: <http://www.pops.int/documents/background /hewc. pdf> . Accessed March 5, 2013.
- 3 De Lurdes Dinis, M., Fiúza, A. Exposure assessment to hazardous pesticides – strategies to reduce human and environmental risks. In Environmental Security Assessment and Management of Obsolete Pesticides in Southeast Europe. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Eds Simeonov L, Macaev F, Simeonova B Springer, Netherland Press, 2012.
- 4 Eqani, S.A., Malik, R.N., Cincineli, A., Zhang, G., Mohammad, A., Qadir, A., Rashid, A., Bokhari, H., Jones, K.C., Katsoyannis, A. "Uptake of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) by river water fish: the case of River Chenab". Science of the Total Environment. 450-451, (2013): 83-91.
- 5 Weber, R., Schlumpf, M., Nakano, T., Vijgen, J. "The need for better management and control of POPs stockpiles". Environmental Science and Pollution Research. 22, no 19 (2015): 14385-14390.
- 6 Obzor o vypolnenii obyazatelstv Respubliki Kazakhstan po Stokholmskoi konvencii o SOZ. Analiticheskoye ekologicheskoe agentstvo «Greenwomen» [Overview of the implementation of the obligations of the Republic of Kazakhstan under the Stockholm Convention on POPs. In Environmental Agency “Greenwomen”] 2018. (in Russian).
- 7 Buccini, J. The development of a global treaty on persistent organic pollutants (POPs). In Persistent organic pollutants. Springer: Berlin, Heidelberg, 2003.

- 8 UNEP. The hazardous Chemicals and Waste Conventions. WHO/UNEP/FAO Available at: <http://www.pops.int/documents/background/hewe.pdf>. May, 2013.
- 9 US EPA. National Water Quality Inventory: 1998 Report to Congress. EPA841-F00-006. – U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. June. 2000.
- 10 White, P., Wolf, D., Thoma, G. and Reynolds, C. “Phytoremediation of alkylated polycyclic aromatic hydrocarbons in a crude oil-contaminated soil” *Water, Air, and Soil Pollution*. 169, no 1-4 (2006): 207-220.
- 11 Kelsey, J., Colino, A., Koberle M., White, J. “Growth conditions impact 2,2-bis (p-chlorophenyl)-1,1-dichloroethylene (p,p'-DDE) accumulation by *Cucurbita pepo*” *International Journal of Phytoremediation*. 8, no 3 (2006): 261-271.
- 12 Zeeb, B., Amphlett, J., Rutter, A. and Reimer, K. “Potential for phytoremediation of polychlorinated biphenyl-(PCB)-contaminated soil.” *International Journal of Phytoremediation*. 8, no 3 (2006): 199-221.
- 13 Shumny, V., Veprev, S., Nechiporenko N., Goryachkovskaya T., Slyntko N., Kolchanov N., Peltek S. “A new form of Miscanthus (Chinese silver grass, *Miscanthus Sinensis* Andersson) as a promising source of cellulosic biomass”. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 1, (2010): 167-170.
- 14 Jodice, R. Technical assistance for the development and improvement of technologies, methodologies and tools for enhanced use of agricultural biomass residues. Italy, Serbia, October 2009, June 2010.
- 15 Best practice guidelines. Applicants to DEFRA'S Energy Crops Scheme – Final report for DEFRA projects are available from DEFRA Chief Scientist's Group 1A Page Street London. 2001.
- 16 Heaton, E., Dohleman, F., Miguez, F., Juvik J., Lozovaya, V., Widholm J., Zabotina, O., Mcisaac F., Silver, D., Voigt, T., Boersma N. and Long S. “Miscanthus: a promising biomass crop” *Advances in Botanical Reseash*. 56, (2010): 75-137.
- 17 Han, M., Kim, Y., Koo, B. and Choi, G. “Bioethanol production by Miscanthus as a lignocellulosis biomass: focus on high efficient conversion to glucose and ethanol” *BioResources*. 6, no 2 (2011): 1939-1953.
- 18 Pidlisnyuk V., Erickson L., Kharchenko, S., Stefanovska, T. “Sustainable Land Management: Growing Miscanthus in Soils Contaminated with Heavy Metals”. *Journal Environment Protection, Special Issue in Environmental Remediation*. 5, (2014): 723-730.
- 19 Zaier, H., Ghnay, T., Lakhdar, A., Baioui, R., Ghabriche, R., Mnasri, M., Sghair, S., Lutts, S. and Abdelly C. “A. Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: Tolerance and accumulation”. *Journal of Hazardous Material*. 183, no 1-3 (2010): 609-615.
- 20 Amin, H., Araina, B., Abbasi, M., Jahangir, T. and Amin, F. “Comparative study of Zn-phytoextraction potential in guar (*Cyamops tetragonoloba* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.): tolerance and accumulation”. *GeoloGy, EcoloGy, and Landscapes*. 2, no 1. (2018): 29-38.
- 21 Zu, Y., Li, Y., Chen, J., Chen, H., Qin, L. and Schwartz, C. “Hyperaccumulation of Pb, Zn, and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China”. *Journal Environment International*. 31, no 5 (2005): 755–762.
- 22 Audet, P. and Charest, C. “Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective”. *Journal Environmental Pollution*. 147, no 1 (2007): 231–237.
- 23 Vyal, U., Dukova, G., Leonova, I. and Chryanin, V. “Adaptaciya fotosinteticheskogo apparata podrosta shirokolistvennyh derevyev v usloviyah goroda” [Photosynthetic apparatus adaptation during growth of broadleaf trees in the city conditions]. *Journal of Plant physiology*. 54, no.1 (2007): 61-72. (In Russian).
- 24 Kirienko, N., Terleeva P. “Vliyanie tehnogenного загрязнения территории на содержание пигментов в листьях лекарственных растений” [Influence of the sites technogenic pollution on the content of pigments in leaves of drug plants]. www.kgau.ru/img/konferenc2009/32/doc. (In Russian)
- 25 Kuznecov, V. and Dmitrieva, G. Plant physiology. Book. Moscow. High school. 2006. (In Russian).
- 26 Chirkova, T. Physiological basics of plant resistances. Book. Saint Petersburg: SPB University. 2002. (In Russian).
- 27 Nurzhanova, A., Kalugin, S. and Zhambakin, K. “Obsolete pesticides and application of colonizing plant species for remediation of contaminated soils in Kazakhstan”. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*. 20, no 4 (2013): 2054-2063.

2-бөлім

**ҚОРШАГАН ОРТА ЛАСТАУШЫЛАРЫНЫҢ
БИОТАҒА ЖӘНЕ ТҮРФЫНДАР ДЕНСАУЛЫҒЫНА
ӘСЕРІН БАҒАЛАУ**

Section 2
**ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL
POLLUTION ON BIOTA AND HEALTH**

Раздел 2
**ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ
ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
НА БИОТУ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ**

¹A.M. Kalimagambetov , ¹A.A. Dyusembaeva ,
²I.A. Khalelova , ¹Z.G. Aitasheva , ³B.N. Kudryavtsev

¹Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty,

e-mail: aitkali.kalimagambetov@kaznu.kz

²Regional Perinatal Center, Kazakhstan, Aktau

³Institute of Cytology, Russia, St. Petersburg

CHROMOSOMAL DISORDERS IN THE FETUS OF PREGNANT WOMEN FROM AKTAU

Abstract. The article presents the data of cytogenetic study on the fetal karyotype of 310 pregnant women from the city Aktau in 2013-2015. Chorionic biopsy and placental biopsy were carried out for 248 pregnant women with amniocentesis in 18 cases and cordocentesis in 44 cases. Clinical indicators imposing invasive procedures to pregnant women at risk were maternal age factor, fetal ultrasound markers, serum blood markers determined in pregnant women, the presence of children with multiple congenital malformations, chromosomal pathologies, etc. Distribution frequencies of fetal chromosomal abnormalities have been determined based on clinical and laboratory studies. The highest frequency of chromosomal abnormalities of the fetus was indicated in pregnant women with three salient indicators: the factor of the age of the pregnant woman, parameters of biochemical screening, and ultrasound markers. Chromosomal abnormalities of the fetus were detected in 94 (30.3%) pregnant women including 92 cases (97.9%) represented by numerical chromosome disorders and 2 cases (2.1%) of structural disorders. Disorders of the autosome system were observed 9.4 times more often comparing to abnormalities in the sex chromosome system. Of the numerical chromosome abnormalities, a high specific weight is occupied by trisomy of the 21-st chromosome which has reached 65.1%. A comparative analysis of the frequencies of chromosomal abnormalities of the fetus of two port cities has demonstrated a 1.7-fold increase in the city of Aktau (Kazakhstan) compared with the city of Murmansk (Russia), and the average frequencies of fetal karyotype anomalies have made up 19.6% and 11.6%, respectively. Higher level of frequencies for fetal karyotype anomalies in Aktau is possibly associated with unfavorable environmental conditions in this city caused by the allocation of the oil and gas industry, the repository for tailing toxic and radioactive wastes, and abandoned uranium mines.

Key words: karyotype, fetus, prenatal diagnosis, fetal chromosome disorders, ecological state of urban agglomerations.

¹А.М. Калимагамбетов, ¹А.А. Дюсембаева,

²И.А. Халелова, ¹З.Г. Айташева, ³Б.Н. Кудрявцев

¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.,
e-mail: aitkali.kalimagambetov@kaznu.kz

²Облыстық перинаталдық орталығы, Қазақстан, Ақтау қ.

³Цитология институты, Ресей, Санкт-Петербург қ.

Ақтау қаласындағы жүкті әйелдер ұрығының, хромосомалық бұзылыстары

Андрата. Макалада 2013-2015 жылдар аралығында Ақтау қаласындағы 310 жүкті әйелдің ұрық кариотиптерінің цитогенетикалық зерттеу нәтижелері көлтірлген. Хориониопсия және плацентобиопсия 248 жүкті әйелге, амниоцентез – 18 және кордоцентез – 44-не жүргізілді. Қауыпты тобындағы жүкті әйелдерге арнаған инвазивті процедуралардың клиникалық көрсеткіштері: аналық, жас факторы, ұрықтың ультрадыбыстық маркерлері, жүкті әйелдердің қан сарысындағы маркерлері, көптеген тұя біткен ақаулары, хромосомалық патологиялары бар балалардың болуы. Ұрықтың хромосомалық аномалияларының таралу жиілігі клиникалық және зертханалық зерттеулерді ескере отырып анықталады. Ұрықтың хромосомалық ауытқуларының ең жоғары жиілігі пренатальды диагностиканың үш көрсеткіші бар жүкті әйелдерде анықталды, яғни, жүкті әйелдің жас факторы, биохимиялық скрининг параметрлері және ультрадыбыстық маркерлер бойынша. Ұрықтың хромосомалық ауытқулары 94 (30,3%) жүкті әйелдерде анықталды, олардың ішінде 92 жағдай (97,9%) хромосомалардың сандық бұзылыстарымен және

2 жағдай (2,1%) күрылымдық бұзылыстармен сипатталды. Жыныстық хромосомалар жүйесіндегі ауытқулармен салыстырғанда аутосомалық хромосомалар жүйесіндегі бұзылыстар 9,4 есе жіе байқалды. Хромосомалардың сандық бұзылыстарының ішінде жоғары үлес 21 хромосоманың трисомиясы бойынша байқалды, оның жиілігі 65,1% құрады. Екі теңіз жағалауындағы қалаларда ұрықтың хромосомалық аномалияларының жиілігі Мурманск (Ресей) қаласымен салыстырғанда Ақтау қаласында (Қазақстан) 1,7 есе рет есекенін көрсетті, ұрықтың кариотиптік ауытқуларының орташа жиілігі сәйкесінше 19,6% және 11,6%, байқалды. Ақтаудағы ұрықтың кариотиптік ауытқуларының жиілік деңгейінің жоғарылауы Ақтаудағы қолайсыз экологиялық жағдайға, яғни мұнай-газ өнеркәсітерінің болуына, токсиндік және радиобелсенді қалдықтарға арналған қалдық қоймасы мен тасталған уран шахталарына байланысты болуы мүмкін.

Түйін сөздер: кариотип, ұрық, пренатальды диагноз, ұрықтың хромосомасының бұзылыстары, қалалық агломерацияның экологиялық жағдайы.

¹А.М. Калимагамбетов, ¹А.А. Дюсембаева,

²И.А. Халелова, ¹З.Г. Айташева, ³Б.Н. Кудрявцев

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы,

e-mail: aitkali.kalimagambetov@kaznu.kz

²Областной перинатальный центр, Казахстан, г. Ақтау

³Институт цитогенетики, Россия, г. Санкт-Петербург

Хромосомные нарушения у плода беременных женщин г. Ақтау

Аннотация. В статье приведены результаты цитогенетического исследования кариотипа плода у 310 беременных женщин г. Ақтау за 2013-2015 гг. Хорионобиопсия и плацентобиопсия проведены у 248 беременных женщин, амниоцентез – у 18 и кордоцентез – у 44. Клиническими показателями для проведения инвазивных процедур беременным женщинам группы риска были: материнский фактор возраста, УЗИ маркеры плода, сывороточные маркеры крови беременных женщин, наличие детей с множественными врожденными пороками развития, хромосомной патологией и др. Определены частоты распределения хромосомных нарушений у плода с учетом клинико-лабораторных показателей. Наибольшая частота хромосомных нарушений плода установлена у беременных женщин при наличии трех показателей: фактора возраста беременной женщины, параметров биохимического скрининга и УЗИ маркеров. Хромосомные нарушения плода выявлены у 94 (30,3%) беременных женщин, из них 92 случая (97,9%) представлены численными нарушениями хромосом и 2 случая (2,1%) – структурными нарушениями. Нарушения в системе аутосом наблюдались в 9,4 раза чаще по сравнению с нарушениями в системе половых хромосом. Из численных нарушений хромосом высокий удельный вес занимает трисомия по 21 хромосоме, что составило 65,1%. Сравнительный анализ частоты хромосомных нарушений у плода двух портовых городов показал ее увеличение в 1,7 раза в г. Ақтау (Казахстан) по сравнению с г. Мурманском (Россия), средняя частота аномалий кариотипа плода составила соответственно 19,6% и 11,6%. Более высокий уровень частоты аномалий кариотипа плода в г. Ақтау, вероятно, связан с неблагополучной экологической обстановкой в городе, наличием предприятий нефтегазовой промышленности, хвостохранилища токсичных и радиоактивных отходов, заброшенных урановых рудников.

Ключевые слова: кариотип, плод, пренатальная диагностика, хромосомные нарушения плода, экологическое состояние городских агломераций.

Introduction

Currently, due to the intensification of all spheres of human economic activity, a large-scale environmental pollution is observed to be evoked by environmentally hazardous factors, many of which have genotoxic, mutagenic and carcinogenic properties. These factors include heavy metals, pesticides, drugs, wastes from mining, nuclear, oil extraction, refinery and other industries. All these pollutants threaten human health increasing the risk of hereditary pathologies. This is especially

dangerous for the development of embryos and the fetus.

In this regard, one of the priority areas of modern medical genetics is the prevention of congenital malformations and chromosomal pathologies at the stage of fetal development. In this direction, methods of prenatal diagnostics are widely used. The main purpose of prenatal diagnostics is the selection of pregnant women into the high-risk groups of the birth of children with congenital and hereditary pathologies, which require in-depth additional investigations including special

laboratory studies (biochemical, cytogenetic, molecular genetic) on the fetal material [1-4]. According to the data "National Genetic Register of the Republic of Kazakhstan" (NGR) of 2012, 3,500-4500 children with congenital malformations (CDF, or *Congenital Disorders of the Fetus*) are born in the Republic of Kazakhstan annually, out of which 350 with chromosomal pathology, 130 neural tube defects, 270 multiple malformations. Annually, 1000-1200 lethal CDFs are revealed by the program of genetic screening of pregnant women at the stage of fetal development, 140-150 of which display chromosomal pathology. According to the NGR data of the Republic of Kazakhstan, the share of CDFs in the layout of the causes of perinatal mortality makes up 10-15%, and it does not tend to decrease [5].

The aim of this work was cytogenetic investigation on metaphase cells of the fetal biomaterial obtained by chorion- and placentiopsy, amniocentesis and cordocentesis from pregnant women of Aktau.

Materials and methods

In the period from 2013 to 2015, a cytogenetic study of the fetal karyotype across 310 pregnant women at risk was carried out in the Medical-Genetic Department of the State-Owned Enterprise "Regional Perinatal Center", Aktau. Under these conditions the maternal age factor, ultrasound markers of the fetus, biochemical markers of the peripheral blood serum of pregnant women, the birth of children with multiple CDFs, chromosomal

pathologies, and etc. have been taken into account. Metaphase cells of chorionic and placental villi, amniotic fluid cells, fetal cord blood lymphocytes served as the material for investigation after being obtained by the biopsy from pregnant women aged from 18 to 45 years. Biopsy material for cytogenetic studies was obtained by transabdominal puncture under the control of ultrasound examination.

In order to obtain chromosomal preparations from metaphase cells of chorionic and placental villi, the assay on "direct" preparations was implied. Metaphase chromosome preparations from cord blood lymphocytes were obtained by cultivation *in vitro*, in accordance with standard methods. For differential staining of chromosome preparations, the GTG method was used [6, 7].

Metaphase cells were analyzed using an AxioLabA1 light microscope (Zeiss, Germany) and VideoTest – Cario 3.1 computer software (St. Petersburg, Russia) [8].

Results and discussion

The frequency of fetal chromosomal abnormalities has been estimated depending on various factors: maternal age, fetal ultrasound markers, biochemical marker indici of a woman's serum, the presence of children with chromosomal abnormalities in the family, etc. [9]. The data on cytogenetic study taking into account clinical and laboratory parameters of invasive prenatal diagnostics are presented in Table 1.

Table 1 – Frequency of distribution of chromosomal disorders of the fetus of pregnant women based on various clinical and laboratory parameters for 2013-2015

№	Indicators	Number of pregnant women		Frequency of chromosomal abnormalities of the fetus	
		n	%	n	%
1	Age factor	45	14.5	42	93.3
2	Age factor + ultrasound markers	16	5.2	6	37.5
3	Age factor + biochemical markers	115	37.1	10	8.7
4	Age factor + ultrasound markers + biochemical markers	6	1.9	6	100.0
5	Biochemical markers	90	29.0	19	21.1
6	Ultrasound markers	28	9.0	7	25.0
7	Ultrasound markers + biochemical markers	10	3.2	4	40.0
10	Total	310	100.0	94	30.3

As it can be seen from Table 1, chromosomal abnormalities of the fetus were detected in 94 pregnant women, which made up 30.3%. Chromosomal disorders of the fetus in pregnant women were represented by trisomy for autosomes, monosomy and polysomy for sex chromosomes, as well as structural abnormalities.

Analysis of the frequency of occurrence of chromosomal abnormalities depending on clinical and laboratory parameters revealed their ranging from 8.7% to 100%. Moreover, in 93.3% of cases, the presence of fetal chromosomal abnormalities was detected in pregnant women with an age factor,

and in 100% cases, fetal karyotype disorders were established using a triple combination of indicators – maternal age, deviation from normal biochemical markers in the blood serum of a woman and fetal ultrasound markers. A comparative study revealed a higher impact of the age factor (by 4.4 and 3.7 times) and triple combination indicators (by 3.7 and 4.0 times) in comparison with a single effect of biochemical markers and ultrasound markers (sonography markers), respectively. Analytical data on the frequency and spectrum of chromosomal abnormalities of the fetal karyotype are indicated in Table 2.

Table 2 – Frequency and spectrum of chromosomal abnormalities of the fetal karyotype

Chromosomal abnormalities	Fetal karyotype	n	%
numerical			
Trisomy 13 chromosome	47,XX+13; 47,XY+13	6	6.4
Trisomy 18 chromosome	47,XX,+18; 47,XY+18	22	23.4
Trisomy 21 chromosome	47,XX,+21; 47,XY+21	54	57.4
Trisomy on chromosome 21 and an additional marker chromosome	48,XX,+21,+mar	1	1.1
X chromosome monosomy	45,X	4	4.2
X chromosome polysomy in a fetus with a male karyotype	47,XXY	5	5.3
structural			
Robertson translocation between chromosomes 15 and 21	46,XY,t(15/21)	1	1.1
Duplication of the long arm of chromosome 13	46,XY,dup(13)(q)	1	1.1
Total		94	100

Note: n – is the number of cases; + mar – additional marker chromosome

As seen from Table 2, out of 94 detected chromosomal abnormalities, 92 cases (97.9%) are referred to occur numerical abnormalities and 2 cases (2.1%) may be attributed to structural abnormalities. Disturbances in the autosome system were observed 9.4 times more often than disorders of the sex chromosome system. In reference of the numerical chromosome abnormalities, a specifically high percentage was determined for the trisomy of the chromosome 21 which achieved 65.1%. Table 3 shows the outputs of a comparative analysis of the frequency of annual chromosomal disorders of the fetus in 2013, 2014 and 2015.

As it follows from Table 3, among fetal chromosomal abnormalities, the highest frequency of occurrence may be ascribed to trisomy of the 21-st chromosome. If in 2013 this indicator made up 50.0%, then in 2014 – 68.4% and 2015 – 73.7%. That means that there is an evident trend of growing frequency of trisomy on chromosome 21 of the fetus. Considering other chromosome disorders of the autosome and the sex chromosome systems, a random occurrence of these disorders has been marked. Table 4 demonstrates the data on the frequency of fetal chromosomal abnormalities depending on the gender with taking into account the invasive procedures conducted.

Table 3 – Comparative analysis of the frequency of annual chromosomal abnormalities (2013-2015)

Indicators	2013		2014		2015	
	n	%	n	%	n	%
Total number of pregnant women with fetal chromosomal abnormalities	56	100	19	100	19	100
Of them:	Trisomy 13 chromosome	5	8.9	1	5.3	-
	Trisomy 18 chromosome	18	32.1	1	5.3	3
	Trisomy 21 chromosome	28	50.0	13	68.4	14
	X chromosome monosomy – 45,X	2	3.6	1	5.3	1
	X chromosome polysomy – 47,XXY	2	3.6	2	10.4	1
	Structural disturbances	1	1.8	1	5.3	-

Table 4 – Numerical ratios of female and male fruits with normal and abnormal karyotype

Invasive diagnosis	The number of pregnant women	Number of fetuses depending on gender		Normal fetal karyotype		Abnormal fetal karyotype	
		♀	♂	♀	♂	♀	♂
Chorionbiopsy	114	57	57	31	37	26	20
Placental biopsy	134	74	60	53	40	21	20
Amniocentesis	18	11	7	9	5	2	2
Cordocentesis	44	30	14	29	12	1	2
Total	310	172	138	122	94	50	44

As given in Table 4, there is a susceptibility (by 6.4%) to violations of the fetal karyotype among female and male fetuses (53.2% and 46.8%, respectively). Similar data have been obtained in the study of Russian researchers [10]. In particular, in the group of women with a history of undeveloped pregnancy, the embryo and fetus had a pathological karyotype in 34 cases (77.1%). Female karyotype was identified to occur more often than that one of the males by 7.4%: 29 cases (53.7%) versus 25 cases (46.3%). Another investigation emphasizes that the sex ratio in the first trimester of pregnancy is shifted towards the male gender due to conspicuous elimination of female embryos [11]. The authors suggest that one of the reasons for this phenomenon may be a violation of the process of inactivation of the X chromosome. Thus it may be assumed that such a growing elimination of female embryos also includes the presence of inner embryonic chromosomal abnormalities in result of the combinatorial effect of environmental stresses explained by a long-lasting residence in ecologically unfavorable areas. According to the WHO, exposure of the maternal body to certain pesticides and other chemicals, as well as certain drugs, alcohol, tobacco, psychoactive agents or radiation during pregnancy, may increase the risk

of congenital malformations in the fetus or newborn. Living or working in the neighbourhood or directly at the spot of test sites, metallurgical plants or mines can also be a risk factor, especially when the mother's body is exposed to supplementary environmental risk factors or in case of malnutrition [12, 13]. One of the significant environmental factors endangering human health is the air pollution of urban agglomerations. According to the WHO recommendation, air pollution level (together with air quality index, AQI) in cities should not be more than $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$, and the average daily level should not exceed $25 \mu\text{g} / \text{m}^3$. However, in large megacities, air pollution level is exceeded many times. Excessive air pollution level is a risk to human health. It is known that chemical compounds and heavy metals of atmospheric air in the city exhibit carcinogenic, mutagenic and toxic effects [14]. This, of course, can cause an accelerated frequency of birth of children with gene and chromosomal diseases.

In this regard, we carried out a comparative analysis of the data obtained to the data of the scientific literature on the most frequent numerical violations of fetal chromosomes in the population. The data on cytogenetic studies of the fetal karyotype of pregnant women living in various regions of Kazakhstan and

Russia were analyzed (Aktau, Almaty, Kazan and Murmansk). The main comparative background was the similarity of the ecological state of urban agglomerations. Almaty and Kazan are the largest megacities with a population over 1 million people. Aktau and Murmansk are referencing port cities with a population of nearly 300 thousand people.

According to local meteorological services, Almaty and Kazan are classified as cities with a high level of air pollution, whereas Aktau and Murmansk as those with a low level. Table 5 presents comparative study on the average incidence of numerical disorders among fetal chromosomes in the cities of Aktau, Almaty, Kazan, and Murmansk.

Table 5 – Frequency of numerical violations of fetal chromosomes

Chromosomal abnormalities	Frequency of chromosomal abnormalities, %			
	Kazan [15]	Murmansk [16]	Almaty [17]	Aktau (own data)
Trisomy 13 chromosome	4.5	1.0	5.0	6.0
Trisomy 18 chromosome	19.0	7.0	15.0	23.0
Trisomy 21 chromosome	51.0	39.0	46.5	60.0
X chromosome monosomy – 45,X	17.0	9.0	5.0	4.0
X chromosome polysomy – 47,XXY	-	2.0	8.3	5.0
Average frequency	18.3	11.6	16.0	19.6

As indicated in Table 5, the average frequency of numerical violations of fetal chromosomes in cities of Almaty and Kazan is approximately the same – 16.0% and 18.3%, respectively. However, significant increase of the average frequency of numerical abnormalities of fetal chromosomes in pregnant women in the city of Aktau (19.6%), when compared with the city of Murmansk (11.6%), is 1.7 times higher, though the air pollution level in both cities, Aktau and Murmansk, are equally low. There is also a noticeable elevation of average frequency of fetal chromosomal abnormalities in the city of Aktau by 1.2 times, comparing to Almaty. In this regard, distinctive environmental features of Aktau should be mentioned. Aktau is the center of the oil and gas industry of Kazakhstan. The oil industry has undoubtedly put a serious environmental burden on the city. There are also adjacent radiationally hazardous facilities: the Koshkar-Ata tailing repository concluding toxic and radioactive wastes, neglected uranium mines and the “dead lake” Little Oymasha (Malaya Oymasha). All this in general can lead to the strengthening environmental load and, accordingly, may affect the state of human health, including the development of the fetus.

There is a statistically reliable increase of the frequency of abortions due to genetic disorders in the fetus and congenital malformations of newborns in the Zhytomyr Region contaminated with Chernobyl radionuclides [18]. The negative effect

of air and water pollutants due to oil and natural gas production on the development of the embryo and fetus has been manifested [19]. It was established that seasonal differences in the incidence of trisomy of chromosome 21 in the fetus correlated with levels of nitric oxide and ozone fluctuations in the environment [20].

It should be mentioned that the solution of the problem of air pollution in urban agglomerations will certainly facilitate reduced frequency of birth of children with hereditary pathology to improve the gene pool of the population.

Conclusion

1. The combination of three indici of prenatal diagnostics, namely the maternal age, sonography markers and deviations from the parameters of maternal blood biochemical markers, indicate a high probability of fetal chromosomal abnormalities.

2. Chromosomal abnormalities in the autosome system are observed 9.4 times more often than abnormalities in the sex chromosome system – 97.8% and 2.2%, respectively.

3. Among the numerical chromosome disorders of the autosome system, trisomy of chromosome 21 is prevailing with a high proportion reaching 65.1%.

Thus, cytogenetic methods are able to confirm or exclude fetal chromosomal pathology and are considered as essential tool for prenatal diagnostics.

References

- 1 Nussbaum R.L., McInnes R.R., and Willard H.F. *Tompson & Thompson Genetics in Medicine* 7th ed. ELSEVIER, 2007.
- 2 Hixson L., Goel S., Schuber P., Faltas V., Lee J., Narayakkadan A., Leung H., Osborne J. "An Overview on Prenatal Screening for Chromosomal Aberrations" *J Lab Autom.* 20, no. 5 (2015): 562–573.
- 3 Baer R.J., Currier R.J., Norton M.E., Flessel M.C., Goldman S., Towner D., Jelliffe-Pawlowski L.L. "Outcomes of pregnancies with more than one positive prenatal screening result in the first or second trimester." *Prenat Diagn.* 35, no. 12 (2015): 1223–1231.
- 4 Levy B., Stosic M. "Traditional Prenatal Diagnosis: Past to Present." *Methods Mol Biol.* 1885, (2019): 3–22.
- 5 Prikaz Ministra zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan ot 19 marta 2012 goda № 183 «Ob utverzhdenii «Dorozhnuy karty» po organizatsii prenatal'nogo skrininga v Respublike Kazakhstan», st.5. [Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated March 19, 2012 No. 183 "On approval of the Roadmap for the organization of prenatal screening in the Republic of Kazakhstan", Article 5.]. (In Russian).
- 6 Plaseska-Karanfilska D. *Human Genetic Diseases*. InTech. Croatia, 2011.
- 7 Vorsanova S.G., Yurov Yu.B., Chernyshev V.N. *Meditinskaya tsitogenetika* [Medical cytogenetics]. M.: ID MEDPRAKTIKA-M, 2006. (In Russian).
- 8 Programs for cytogenetics Videotest-Kario 3.1. Last modified October 21, 2018. <http://www.microscope-plus.ru/videotest-karyo.html>
- 9 Ozawa N., Ogawa K., Sasaki A., Mitsui M., Wada S., Sago H. "Maternal age, history of miscarriage, and embryonic/fetal size are associated with cytogenetic results of spontaneous early miscarriages." *J Assist Reprod Genet.* 36, no. 4 (2019): 749–757.
- 10 Spiridonova N.F., Kalinkina O.B., Gil'miyarova F.N., Meleshkina O.I. "Vzaimosvyaz' nerazvivayushcheysha beremennosti s khromosomnoy patologiyey ploda." ["The relationship of undeveloped pregnancy with chromosomal pathology of the fetus".] *Kazanskii meditsinskii zhurnal* 94, no. 5 (2013): 748–751. (In Russian).
- 11 Tolmacheva E.N., Vasil'ev S.A., Sazhenova E.A., Zhigalina D.I., Grigorovich E.I., Nikitina T.V., Mel'nikov A.A., Zhabina E.S., Ivanova T.V., Evtushenko I.D., Lebedev I.N. "Asimmetrichnaya inaktivatsiya Kh-khromosomy u vnutriutrobovo pogibshikh embrionov cheloveka." ["Asymmetric inactivation of the X chromosome in prenatally dead human embryos."] *Tsitologiia*, no. 11 (2015): 808–812. (In Rusian).
- 12 World Health Organization. Congenital anomalies. Last modified September 7, 2016 <https://www.who.int/ru/news-room-fact-sheets/detail/congenital-anomalies>
- 13 Mattison D.R. "Environmental exposures and development." *Curr Opin Pediatr.* 22, no. 2 (2010): 208–218.
- 14 Agudelo-Castañeda D.M., Teixeira E.C., Schneider I.L., Lara S.R., Silva L.F.O. "Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric PM1.0 of urban environments: Carcinogenic and mutagenic respiratory health risk by age group." *Environ Pollut.* no. 224 (2017): 158–170.
- 15 Abuseva A.V., Teregulova L.E., Vafina Z.I., Toktarova O.A., Tukhbatullin M.G. "Prenatal'naya diagnostika khromosomnykh anomalii u plodov, voshedshikh v gruppu srednego i nizkogo riska po rezul'tatam kombinirovannogo prenatal'nogo skrininga I trimestra po modulyu FMF." ["Prenatal diagnosis of chromosomal abnormalities in fetuses that are in the medium and low risk group according to the results of combined prenatal screening of the first trimester according to the FMF module."] *Prakticheskaya meditsina* 2, no. 3. (2014): 112–117. (In Russian).
- 16 Peretrakhina I.V., Kazeeva D.O. "Laboratornaya diagnostika khromosomnoy patologii v Murmanske i Murmanskoy oblasti (2006-2011 gody)." ["Laboratory diagnosis of chromosomal pathology in Murmansk and the Murmansk region (2006-2011)."] *Vestnik MGT* 16, no. 4 (2013): 777–782. (In Russian).
- 17 Kalimagambetov A.M., Rustembekov N.Zh., Ayapova S.K., Abdresheva G.K., Myrzabekova G.T. "Rezul'taty tsitogeneticheskogo issledovaniya v prenatal'noy diagnostike." ["The results of cytogenetic studies in prenatal diagnosis."] *Vestnik KazNU. Seriya biologicheskaya* 57, no 1 (2013): 139–142. (In Russian).
- 18 Timchenko O.I., Linchak O.V., Protsiuk O.V., Pol'ka E.A., Benedichuk Iu.V., Marinich A.V. "Birth defects on Chernobyl radionuclide polluted territories." *Radiats Biol Radioecol.* 54, no. 5 (2014): 507–521.
- 19 Webb E., Bushkin-Bedient S., Cheng A., Kassotis C.D., Balise V., Nagel S.C. "Developmental and reproductive effects of chemicals associated with unconventional oil and natural gas operations." *Rev Environ Health.* 29, no. 4 (2014): 307–318.
- 20 Chung M.K., Lao T.T., Ting Y.H., Wong T.W., Leung T.Y. "Seasonality of fetal trisomy 21—have ambient air pollutants played a role?" *J Matern Fetal Neonatal Med.* 28, no. 5 (2015): 552–557.

А.К. Маденова , **М.Н. Атишова** ,
А.М. Кохметова , **М.Е. Амангельдинова** 

Институт биологии и биотехнологии растений, Казахстан, г. Алматы,
e-mail: madenova.a@mail.ru

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ТВЕРДОЙ ГОЛОВНЕ *Tilletia caries* (DC.) ПШЕНИЦЫ

Аннотация. Одной из наиболее вредоносных болезней пшеницы относится твердая головня, возбудителем которой являются грибы *Tilletia caries* (DC.). Наиболее эффективным методом борьбы с головней считается генетическая защита растений, которая достигается внедрением в производство новых устойчивых образцов к твердой головне пшеницы. В настоящее время имеется информация о 15 генах, которые могут обеспечить защиту от патогена твердой головни. Разработан ряд молекулярных маркеров, связанных с основными генами устойчивости к твердой головне. Они будут использованы для создания устойчивых к твердой головне сортов путем скрининга и интродукции Bt-генов устойчивости в сорта пшеницы с хорошими хозяйственными признаками. Целью исследования является идентификация носителей устойчивости к твердой головне с использованием молекулярных маркеров. Проведен молекулярный и фитопатологический скрининг румынских образцов пшеницы на устойчивость к твердой головне *Tilletia caries*. Молекулярный скрининг румынских образцов на устойчивость к твердой головне показал, что 2 образца (02429GP-1, F08245G1), обладают геном Bt9. При использовании для ПЦР праймера к локусу FSD/RSA у двух образцов выявлен ген устойчивости Bt10. В результате фитопатологического анализа установлено, что 5 образцов (02429GP-1, F08126G1, F08245G1, F08347G1, F07270G2) характеризуются высокой устойчивостью к твердой головне. Сорт Retezat показал восприимчивую реакцию с поражением в 52%. Полученные данные являются ценностными в селекционных программах для повышения устойчивости к твердой головне.

Ключевые слова: пшеница, молекулярный скрининг, гены устойчивость, фитопатологическая оценка, твердая головня.

A.K. Madenova, M.N. Atyshova, A.M. Kokhmetova, M.E. Amangeldinova

Institute of Plant Biology and Biotechnology, Kazakhstan, Almaty,
e-mail: madenova.a@mail.ru

Identification of genetic carriers of wheat steady against common bunt *Tilletia caries* (DC.)

Abstract. One of the most widespread and dangerous diseases of wheat is the common bunt, which is caused by the fungi *Tilletia caries* (DC.). The most effective method of combating smut is considered to be genetic protection of plants, which is achieved by the introduction of new resistant samples to common bunt wheat. There is information about more than 15 genes that can express resistance to this disease. A number of molecular markers associated with the main genes of resistance to common bunt have been developed. They will be used to create common bunt resistant samples by screening and introgression of Bt-genes resistance into wheat samples with good economic value traits. The aim of the study is to identify carriers of resistance to common bunt using molecular markers. Molecular and phytopathological screening of Romanian wheat samples for resistance to common bunt *Tilletia caries* (DC.) was carried out. Molecular screening of Romanian samples for resistance to common bunt showed that 2 samples (02429GP-1, F08245G1) possess the Bt9 gene. When using a primer for PCR to the FSD / RSA locus, the Bt10 resistance gene was detected in two samples. As a result of phytopathological analysis, it was found that 5 samples (02429GP-1, F08126G1, F08245G1, F08347G1, F07270G2) are highly resistant to common bunt. Retezat showed a susceptible response with a lesion of 52%. The data obtained are valuable in breeding programs to increase resistance to common bunt.

Key words: wheat, molecular screening, resistance genes, phytopathological assessment, common bunt.

А.К. Маденова, М.Н. Атишова, А.М. Кохметова , М.Е. Амангельдинова

Өсімдіктер биологиясы және биотехнология институты, Қазақстан, Алматы қ.,
e-mail: madenova.a@mail.ru

Бидайдың қатты қара күйе ауруына *Tilletia caries* (DC.) төзімділік ген тасымалдаушыларын идентификациялау

Андратпа. Қатты қара күйе бидайдың ең қауіпті ауруларының бірі болып табылады, оның көздірғышы *Tilletia caries* (DC.). Қатты қара күйе аурумен күресудің ең тиімді өдісі генетикалық қорғану болып табылады, ол қатты қара күйеге тәзімді бидай үлгілерін өндіріске енгізуге мүмкіндік береді. Қазіргі таңда бұл ауруға тәзімділік көрсететін 15-ке жуық ген белгілі. Қатты қара күйеге тәзімділіктің негізгі гендерімен байланысты молекулалық маркерлер қатары өзірленді. Олар жақсы шаруашылық-құнды белгілері бар бидай сорттарына тұрақтылық Bt-генінің скринингі және интровергессиясы арқылы қатты қара күйеге тәзімді сорттарды жасау үшін пайдаланылатын болады. Зерттеудің мақсаты молекулалық маркерлерді пайдалана отырып, қатты қаракүйеге тәзімді ген тасымалдаушыларын анықтау болып табылады. Қатты қаракүйеге *Tilletia caries* (DC.) тәзімділігін анықтауда румындық бидай үлгілеріне молекулалық және фитопатологиялық скрининг жүргізілді. Молекулалық скринингтің нәтижесінде қатты қаракүйеге тәзімді 2 үлгіде (02429GP-1, F08245G1) Bt9 гені табылды. ПТР үшін FSD/RSA праймерінің локусын қолданғанда екі үлгіде Bt10 гені анықталды. Фитопатологиялық талдау нәтижесінде 5 үлгі (02429GP-1, F08126G1, F08245G1, F08347G1, F07270G2) қатты қаракүйеге жоғары тәзімділікпен ерекшеленді. Retezat сорты 52%-да тәзімсіздік реакция көрсетті. Бұл құнды генотиптер болашақта қатты қара күйеге тәзімді сорттар шығару үшін селекцияда бағалы бастапқы материал ретінде пайдаланылуға болады.

Түйін сөздер: бидай, молекуалық скрининг, төзімді гендер, фитопатологиялық бағалау, қатты қаракүйе.

Сокращения и обозначения

Tilletia caries (DC) Tul. – возбудитель твердой головни пшеницы; *Bt*-гены – обозначение для генов устойчивости к твердой головне.

Введение

Твёрдая головня пшеницы – один из самых значимых биотических ограничителей в производстве пшеницы по всему миру. Для реализации задач по снижению распространения болезни, получения незаражённого сельскохозяйственного продукта, повсеместно используется обработка семенного материала фунгицидами. Использование современных препаратов практически полностью устраниет прямые потери сельскохозяйственного продукта, они эффективно уничтожают споры на семенах и в почве. Однако метод применения протравителей семенного материала наносит урон окружающей среде, здоровью человека. Этот способ защиты экономически не выгоден и неприемлем при органическом земледелии [2, 3]. В Европе потери урожая из-за твердой головни составляли более 50%, а в отдельные годы эта болезнь приводила к полной потере урожая [4, 9]. Наиболее важным источником инфекции являются зараженные семена. Заражение пшеницы происходит во время

прорастания, этому способствуют прохладные и влажные условия. Пораженные колосья легковесные, не поникают, имеют серовато-фиолетовый оттенок, издают селедочный запах [5]. Койшыбаевым М.К. (2002) показано, что при посеве непротравленными семенами пшеница поражается головней до 10% и более, что приводит не только прямым потерям, но заметному снижению качества зерна; из-за токсических свойств спор головни, содержащих алкалоид триметиламин, головня негативно влияет на здоровье человека и сельскохозяйственных животных. Сильно заспоренное зерно нельзя использовать для приготовления продуктов питания и комбикормов для животных [5, 6, 7]. Многие казахстанские сорта пшеницы, обладающие стабильной урожайностью, высоким качеством зерна и экологической пластичностью, на инфекционном фоне сильно поражаются болезнями. В случае проявления эпифитотии твердой головни это может привести к большим потерям в аграрном секторе [1].

В целях поддержания высокой урожайности и отличного качества семян органические производители должны полагаться на устойчивые к болезням сорта пшеницы [8]. Разработан ряд молекулярных маркеров, связанных с основными генами устойчивости к твердой головне. Они будут использованы для создания устойчивых к

твердой головне сортов путем скрининга и интроверсии *Bt*-генов устойчивости в сорта пшеницы с хорошими хозяйственными ценными признаками.

Наиболее эффективным методом борьбы с головней считается генетическая защита растений, которая достигается внедрением в производство новых устойчивых образцов к твердой головне пшеницы. Таким образом, вместо применения химических обработок семян необходимы органические средства для борьбы с болезнями растений. Сорта пшеницы, несущие гены устойчивости, используются как альтернативный метод борьбы вместо химических фунгицидов против общей болезни. Актуальность таких исследований обусловлена необходимостью создания генетически разнородных источников устойчивости, доноров и перспективных линий пшеницы, которые могут быть использованы в селекции устойчивых к болезни сортов.

Использование генетической устойчивости у растительных организмов к опасным грибным паразитам является многообещающим выбором эффективного управления инфекционным процессом, способом, безвредным для окружающей среды. Известно 15 олигогенов, предопределяющих устойчивость к твердой головне пшеницы (*Bt1 – Bt15*) [10, 4]. Они присутствуют в генотипе различных сортов и линий пшеницы по отдельности или в сочетании нескольких *Bt*-генов. В производстве практически отсутствуют устойчивые к твердой головне сорта пшеницы. Создание устойчивых сортов пшеницы обеспечивает стабильность производства, особенно в годы эпифитотии, также обеспечивает качество, себестоимость и в полевых условиях обеспечивает санитарно-эпидемиологическую безопасность. Российскими исследователями показано, что донорами твердой головни являются яровые сорта пшеницы Baart (*Bt1*), Canus (*Bt2, Bt5*), Redman (*Bt3*) и озимые пшеницы Альбидум 114, Заря [11, 12]. Румынскими генетиками установлено, что линии F94976G-M2-11, F94978G-M1-51, F94975G-M1-11, F95602GM1-21, F94895G-M1-21 и F94889G-M1-31 являются источниками генов *Bt11, Bt13, Bt10, Bt8, Bt12* и *Bt5*. Эти линии, созданные на основе сорта Dropia, в настоящее время выращивают на больших площадях в Румынии. Турецкая линия PI178383 является источником генов *Bt8, Bt9, Bt10* [13]. В Румынии и Киргизстане твердой головни пшеницы высокую устойчивость твердой головне пшеницы показали образцы из США – Burt, Celorow,

Franklin, Ark, Hyslop; из Франции – Marines; из Англии – Regent, из Болгарии – Русалка, из СНГ – Заря, Прикубанская, Красноводопадская 23, Красноводопалская 28 ит.д [13, 14]. При изучении устойчивости сортов озимой пшеницы казахстанский селекции выделен сорт Милянопус 223 [15]. Сорт Заря, имеющий ген *BtZ*, вызывает большой интерес селекционеров [14]. Устойчивость к твердой головне в основном наблюдается в 15 идентифицированных генах устойчивости [4, 10]. Из генов устойчивости к твердой головне большое внимание уделяется гену *Bt10*, потому что, по литературным данным, этот ген является эффективным против всех рас твердой головни в мире [16].

Создание коллекции образцов пшеницы с эффективными генами устойчивости к твердой головне с помощью молекулярно-генетических маркеров, сочетающих высокую продуктивность с устойчивостью к твердой головне, позволит предотвратить потери урожая и повысить фактическую урожайность до 50%, снизить затраты на обработку посевов пестицидами и уменьшить загрязнение окружающих среды.

Целью исследования была идентификация генотипов-носителей устойчивости к твердой головне с использованием молекулярных маркеров, сцепленных с генами *Bt9* и *Bt10*.

Материалы и методы

Исследования проводили с 10 образцами зарубежной селекции (Румыния). В качестве стандарта служил сорт Богарная 56. Фитопатологические анализы к твердой головне пшеницы проводили на искусственном инфекционном фоне Казахского НИИ земледелия и растениеводства, п. Алмалыбак, Алматинский область, Казахстан. Оценка на искусственном инфекционном фоне позволяет определять степень поражаемости изученных образцов пшеницы, выбраковывать восприимчивых образцов и целенаправленно вести работу.

Для инокуляции пшеницы твердой головней использовали метод В.И. Кривченко [25]. Устойчивость образцов озимой пшеницы к твердой головне оценивали по этой шкале: 0 – высокоустойчивые сорта или образцы, пораженность до 1%; 1 – практически устойчивые, пораженность колосьев не более 5%; 2 – слабовосприимчивые, поражено не более 10-25% колосьев; 3 – средневосприимчивые – 30-50% колосьев; 4 – сильно восприимчивые – 50-100%) [25]. С целью создания успешного инфекционного фона,

заспорение озимой пшеницы проводили в максимально поздние сроки (во 2-3 декаде октября). Семена высевали в 2-кратной повторности в 2 ряда по одному погонному метру [5]. При инокуляции озимой пшеницы использовали споры головни текущего года. Для оценки устойчивости сортов или линий использовали смесь местной популяции *Tilletia caries*, собранной из нескольких восприимчивых сортов пшеницы. Учет пораженности головневыми болезнями образцов пшеницы проводили по колосьям [5].

Выделение геномной ДНК осуществляли из 5-дневных проростков пшеницы с помощью СТАВ-метода [26]. Носители *Bt*-генов идентифицированы на основе ПЦР с использованием разработанных протоколов. Для идентификации носителей *Bt* использованы STS маркеры. Объем реакционной смеси для ПЦР составляет 25 мкл и содержит 2,5 мкл 10x буфера для Тақ-полимеразы, 2,5 мкл dNTP (2,5 мМ каждого нуклеотида), 0,5 мкл каждого праймера, 0,5 мкл Тақ-полимеразы, 18 мкл MQ-H₂O. Для разделения фрагментов амплифицированной ДНК проводится электрофорез в 2 %-м агарозном или 8 % полиакриламидном геле (ПААГ) в ТВЕ-буфере (45 мМ трис-борат, 1мМ EDTA, pH 8) [27]. Амплификация проводится в амплификаторе BioRad (TM100 Thermalcycler, Singapore): начальная денатурация – 94 °С в течение 5 мин; 45 циклов – 1 мин при 94 °С; 1 мин – 45 °С; 2 мин –72 °С; финальная элонгация проводится в течение 7 мин при 72 °С. Программы ПЦР модифицировались в зависимости от идентифицируемого гена. Амплифицированные фрагменты разделяли с помощью электрофореза в 1,5% агарозном геле в 1×TBE буфере. Под действием электрического тока фрагменты ДНК продвигаются в геле от катода к аноду («от минуса к плюсу»), скорость их движения при этом обратно пропорциональна размерам (мелкие фрагменты проходят больший путь). Положение фрагментов в геле определяют по флуоресценции бромида этидия – интеркалирующего агента, встраивавшегося между двумя цепями молекулы ДНК. Использовалось следующее оборудование: электрофоретическая камера, столик для заливки геля, источник постоянного тока (до 500 В), трансиллюминатор, фотокамера. Реактивы: трис, борная кислота, ЭДТА, агароза, бромфеноловый синий, ксилолцианол, сахароза, бромид этидия и для электрофорез (агарозный).

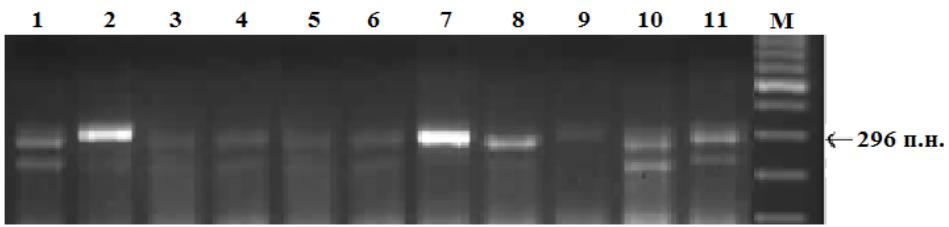
Результаты и обсуждение

Целью исследования была идентификация линий пшеницы среди образцов румынских селекций, устойчивых к твердой головне. Для этого проведен скрининг образцов ДНК пшеницы на присутствие маркеров, сцепленных с генами устойчивости к твердой головне. Для идентификации носителей генов устойчивости использован метод полимеразной цепной реакции (ПЦР). Наиболее эффективными генами устойчивости к твердой головне являются *Bt10* и *Bt9*. Ген *Bt9* локализован на хромосоме 6DL [17], донорами гена являются PI 166910, PI 166921, PI 167822 [18]. Ген *Bt10* также расположен на этой хромосоме. Было предположено их возможное сцепление или совместное размещение. После проведенного сравнения установлено, что гены *Bt9* и *Bt10* являются двумя отличными генами устойчивости пшеницы к твердой головне, расположенным соответственно, на 6DL. Вместе с геном *Bt7* – в сорте CI 7090 [17], с геном *Bt10* – в сортах пшеницы Jeff [19], PI 178383 [20], Ranger *Bt10* [21].

Ожидаемый продукт амплификации размером 296 п.н. для *Bt9* с использованием праймеров Xgpw7433. В качестве положительного контроля при идентификации носителей *Bt*-генов использованы изогенные линии PI 178383 (*Bt9*). На рисунке 1 представлены результаты ПЦР 10 образцов пшеницы. Характерные для носителей *Bt*-гена ПЦР продукты размером 296 п.н. выявлены у 2 образцов (02429GP-1, F08245G1). Эти образцы являются устойчивыми к твердой головне.

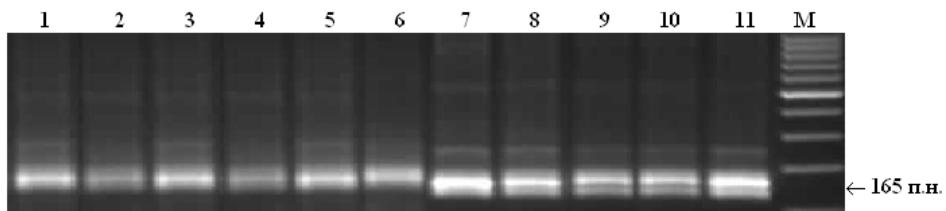
Ген *Bt10* идентифицирован [22] и локализован J.G. Menzies с колленами [16]. Он имеется в генотипе следующих сортов и линий пшеницы: BW553 = Neerawa*6//RedBobs/PI 178383 [23], AC 2000, AC Cadillac, AC Carma, AC Crystal, AC Foremost, AC Taber, AC Vista [17], Fairview [24], PI 116301, PI 116306 [22], Selection M69-2094 [10], SrCad [25]. Вместе с геном *Bt9* – в сортах Jeff [19], PI 178383 [17], Ranger [21].

Для поиска гена *Bt10* использованы маркеры FSD/RSA и Xgwm469 [29]. При использовании маркера FSD/RSA формируется фрагмент ДНК размером 275 п.н., а при использовании маркера Xgwm469 размер продукта амплификации составляет 165 п.н., который ассоциируется с наличием *Bt10* гена. В качестве положительного контроля использованы изогенные линии PI 554118 (*Bt10*).



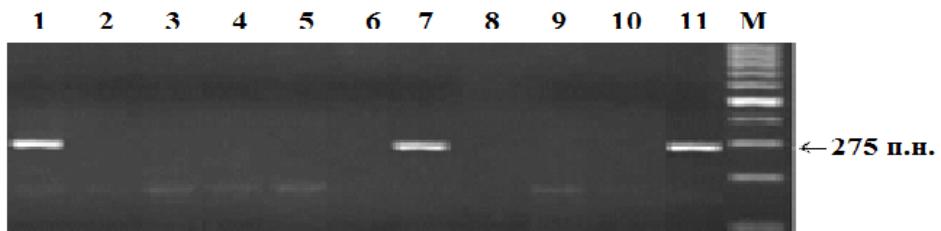
1- PARTNER, 2-02429GP-1, 3- RETEZAT, 4-F08126G1, 5- F08347G1,
6- F06659G-1, 7- F08245G1, 8- F06393GP10, 9-F08034G1, 10- F07270G2,
11-Bt-9 M82-2098, Marker Gene ruller 100 bp

Рисунок 1 – Идентификация гена Bt9 с использованием маркера Xgpw7433



1-Partner, 2-Retezat, 3-02429GP-1, 4-F08126G1, 5-F08245G1, 6-F06659G-1,
7-F08347G1, 8-F08034G1, 9-F06393GP10, 10-F07270G2, 11- PI 554118 (Bt10),
Marker Gene ruller 100 bp

Рисунок 2 – Идентификация гена Bt10 с использованием маркераXgwm 469



1- F08034G1, 2-Partner, 3-Retezat, 4-02429GP-1, 5-F08126G1, 6-F08245G1,
7- F07270G2, 8-F08347G1, 9-F06393GP10, 10-F06659G-1, 11- PI 554118 (Bt10),
Marker Gene ruller 100 bp

Рисунок 3 – Идентификация гена Bt10 с использованием маркера FSD/RSAF/R

ПЦР-анализ выявил, что ПЦР с использованием двух различных маркеров (FSD/RSA F/R и Xgwm469) показал одинаковые результаты, свидетельствующие о наличии гена *Bt10* (рисунки 2 и 3). В таблице 1 представлены результаты ПЦР-анализа пшеницы, отражающего наличие или отсутствие в исследуемых образцах гена устойчивости к *Tilletia caries*.

Проведен фитопатологический скрининг к твердой головне румынских образцов пшеницы. Из изученных 10 генотипов пшеницы выделено 5 генотипов, демонстрировавших вы-

сокий устойчивости к твердой головне (0%). Сорт Retezat показал восприимчивую реакцию с поражением в 52%. В таблице представлены результаты молекулярного и фитопатологического скрининга образцов пшеницы. Молекулярный скрининг румынских образцов на устойчивость к твердой головне показал, что 2 образца (02429GP-1, F08245G1) обладают геном *Bt9*. При использовании для ПЦР праймера к локусу FSD/RSA у двух образцов выявлен ген устойчивости *Bt10*. Ismail Poyraz et al., 2016, Турция, используя микросателлит-

ные Xgwm469, Xgwm114, Xgwm264, Xgwm374 и RAPD UBC196 маркеры выявили наличие *Bt*-генов в гермоплазме пшеницы и показали, что 10 местных сортов имеют в генотипе гены

устойчивости *Bt10*, *Bt11* [30]. Предыдущие исследования были также проведены для молекулярных исследований казахстанских сортов [31].

Таблица 1 – Молекулярный скрининг румынских образцов пшеницы к твердой головне

№ ката-лога	Название образца	<i>Bt9</i> <i>Xgpmw 7433</i> 296 п.н.	<i>Bt10</i> <i>Xgwm469</i> 165 п.н.	<i>Bt10 FSD/RSA</i> 275 п.н.	Фитопатологи-ческая оценка, %
77	PARTNER	-			15,4
78	RETEZAT	-		-	52,6
79	02429GP-1	296		-	0
81	F08126G1	-		-	0
82	F08245G1	296		-	0
84	F06659G-1	-		-	4
336	F06393GP10	-		-	3
337	F08347G1	-		-	0
339	F08034G1	-	165	275	5
341	F07270G2	-	165	275	0
Контрольные линии	Богарная 56	-	-	-	46,2
	PI 178383 (<i>Bt8</i> , <i>Bt9</i> , <i>Bt10</i>)	296	165	275	0
	<i>Bt9</i> M82-2098	296	-	-	0
	PI 554118 (<i>Bt10</i>)	-	165	275	0
	<i>Bt11</i> M82-2123	-	-	-	0
	<i>Bt12</i> P.I.119333 (M82-2141) BW	-	-	-	0

В результате многих исследований, проведенных в мире, есть много маркеров, определяющих гены устойчивости. С помощью этих маркеров были идентифицированы устойчивые носители генов.

Таким образом, был проведен молекулярный скрининг 10 румынских образцов на устойчивость к возбудителю твердой головни пшеницы. Настоящее исследование было обусловлено необходимостью создания источников устойчивости, доноров пшеницы, которые могут быть использованы в селекции устойчивых к болезни сортов. В результате у перспективных линий 02429GP-1, F08245G1 обнаружен ген *Bt9*, а у двух линий (F08034G, F07270G2) был обнаружен ген *Bt10*. Результаты фитопатологического анализа 5 образцов показали высокоустойчивую реакцию к твердой головне. Румынский сорт Retezat показал восприимчивую реакцию с поражением в 52%.

Заключение

Молекулярный скрининг румынских образцов на устойчивость к твердой головне показал, что 2 образца (02429GP-1, F08245G1) обладают геном *Bt9*. При использовании для ПЦР праймера к локусу FSD/RSA у двух образцов выявлен ген устойчивости *Bt10*. В результате фитопатологического анализа установлено, что 9 образцов (02429GP-1, F08126G1, F08245G1, F08347G1, F07270G2) характеризуются высокой устойчивостью к твердой головне. Сорт Retezat показал восприимчивую реакцию с поражением в 52%. Полученные нами результаты создают возможность для перехода селекционного процесса в Казахстане на новый научный уровень за счет комплексного применения молекулярно-генетических и фитопатологических методов. Данные являются ценными в селекционных программах для повышения устойчивости к твердой головне.

Литература

- 1 Shiferaw B., Smale M., Braun H-J., et al Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security // Food Security. – 2013. – Vol. 5. – P. 291–317. Doi: 10.1007/s12571-013-0263-y.
- 2 Lipps P.E. Seed and soil-borne diseases of field crop. Seed treatment for agronomic crops // P.E. Lipps, A.E. Dorrance, L.H. Rhods, G. La Barge // Bull. / The Ohio State University. – 2000. – P. 3.
- 3 Yorgancilar A. Screening Turkishand IWWIP germplasm (International winter wheat improvement program) for common bunt (*Tilletia foetida* (wallr.) Liro, *Tilletia caries* (D.C.) tul.) resistance under eskisehir field conditions / A. Yorgancilar [et al.] // XIX Intern. Workshop on smuts and bunts (May 3-6 2016). – Izmir, – 2016. – P.54-55.
- 4 Goates B.J. Common bunt and dwarf bunt // In book: Wilcoxson R.D., Saari E.E. (eds.), Bunt and Smut Diseases of wheat: Concepts and methods of disease management // – Mexico, D.F.: CIMMYT, – 1996. – P.12-25.
- 5 Койшибаев М. Болезни зерновых культур. – Алматы, 2002. – С. 367.
- 6 Койшибаев М., Яхьяви А., Рсалиев Ш.С., Жанарбекова А.Б. Достижения и перспективы селекции озимой пшеницы на устойчивость к болезням в Центральной Азии // Биологические основы селекции и генофонда растений: Матер. междунар. научн. конф. – Алматы, 2005. – С. 117-121.
- 7 Чекмарев В.В., Зеленева Ю.В., Фирсов В.Ф.. Левин В.А. Методические рекомендации по испытанию химических препаратов и других средств против твердой головни пшеницы на искусственном инфекционном фоне. – Тамбов: Издательский дом ТГУ имени Г.Р. Державина, – 2011. – С. 46.
- 8 Matanguihan J.B., Jones S.S. A new pathogenic race of *Tilletia caries* possessing the broadest virulence spectrum of known races // Plant Health Progress. 2011. Online publication. Doi: 10.1094 PHP-2010-0520-01-RS.
- 9 <http://faostat.fao.org>
- 10 Hoffmann J.A., Metzger R.J. Current status of virulence genes and pathogenic races of the wheat bunt fungi in the north-western USA // Phytopathology. – 1976. – Vol. 66. – P. 657-660.
- 11 Падерина Е.В., Чмут Л.Я. Проблемы селекции зерновых культур на иммунитет // Селекция и семеноводство. – 1995. – №1. – С.15-18.
- 12 Коновалов Ю.Б. Селекция растений на устойчивость к болезням и вредителям. – М.: Колос, 1999. – С. 135.
- 13 Oncica F., Saulesku N.N. Sources of resistance to bunt (*Tilletia spp.*) in modern semidwarf winter wheat (*Triticumaestivum* L.) // Romanian Agricultural Research. – 2007. – Vol. 24. – P. 29-32.
- 14 Позднякова Н.Н., Аубекерова Н.Г., Сулейманова Ш.С. Современное состояние селекции устойчивых к болезням сортов зерновых колосовых культур // Мат. междунар. конф. «Современные методы защиты и сохранения биоразнообразия Кыргызстана». – Бишкек, 2010. – С. 151-155.
- 15 Койшибаев М. Протравливание семян зерновых культур в Казахстане // Защита и карантин растений. – 2000. – № 1. – С. 14-16.
- 16 Menzies J.G., Knox R.E., Popovic Z., Procnier J.D. Common bunt resistance gene Bt10 located on wheat chromosome 6D // Canadian Journal Of Plant Science. – 2006. – Issue 86. – P. 1409-1412.
- 17 McIntosh R.A. Catalogue of Gene Symbols for Wheat // 12th Intern. Wheat Genet. Symp. –Yokohama, Japan, – 2013. – P. 283.
- 18 Metzger R.J., Schaller C.W., Rohde C.R. Inheritance of resistance to common bunt in wheat, C.I. 7090 / R.J. // Crop Sci. – 1979. – Vol. 19. –P. 309-312.
- 19 Sunderman D.W., Bruinsma B. Registration of four wheat cultivars // Crop Sci. – 1975. – Vol. 15. – P. 104-105.
- 20 Metzger R.J., Schaller C.W., Rohde C.R. Inheritance of resistance to common bunt in wheat // Crop Sci. – 1979. – Vol. 19. – P. 309-312.
- 21 Sunderman D.W., Wise M. Registration of Ranger wheat // Crop Sci. – 1973. – Vol. 13. – P. 287.
- 22 Metzger R.J., Silbaugh B.A. A new factor for resistance to common bunt in hexaploidwheats //Crop Sci., – 1971. – Vol.11. – P. 66-69.
- 23 Gaudet D.A. Compatible and incompatible interactions in wheat involving the Bt-10 gene for resistance to *Tilletiatriticici*, the common bunt pathogen // Phytopathology. – 2007. – Vol. 97. – P.1397-1405.
- 24 Quick J.S., Souza E., Sunderman D.W. Registration of ‘Fairview’ wheat // Crop Sci. – 1993. – Vol. 33. – P. 878.
- 25 Hiebert C.W. Genetics and mapping of seedling resistance to Ug99 stem rust in Canadian wheat cultivars ‘Peace’ and ‘Cadillac’ // Theor. Appl. Genet. – 2011. – Vol. 122. – P.143-149.
- 26 Кривченко В.И. Изучение головне устойчивости зерновых культур // Генетика и селекция болезнестойчивых сортов культурных растений. – М., 1974. – С. 156-170.
- 27 Riede C.R., Anderson J.A. Linkage of RFLP markers to on aluminum tolerance gene in wheat // Crop Sci. – 1996. – Vol. 36(4). – P. 905-909.
- 28 Chen X.M., Line R.F., Leung H. Genome scanning for resistance gene analogs in rice, barley, and wheat by high-resolution electrophoresis. Theor. Appl. Genet. – 1998. – Vol. 97. – P.345-355.
- 29 Laroche A., Demeke T., Gaudet D., Puchalski B., Frick M., and McKenzie R. Development of a PCR marker for rapid identification of the Bt10 gene for common bunt resistance in wheat. Genome. – 2000. – Vol. 43. – P. 217-223.
- 30 Ismail Poyraz, N. Gumus Comparison of resistance rates and detection of five resistance gens (BtS) in ten local wheat varieties against common bunt disease // – 2016. –V. 5. –P. 37-45.
- 31 Madenova A.K., Kokhmetova A.M., Atishova M.N., Galymbek K., Keishilov Z.S. Molecular screening for resistance to common bunt (*Tilletia caries*) of wheat // Journal of Biotechnology. Proc. of ‘European Biotechnology Congress 2019, Valencia, Spain, April 11-13, 30SS. 2019. S33-S88. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.185>

References

- 1 Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H-J., et al Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*. No 5 (2013): 291–317. Doi: 10.1007/s12571-013-0263-y.
- 2 Lipps, P.E. Dorrance, L.H. Rhods, G. La Barge “Seed and soil-borne diseases of field crop. Seed treatment for agronomic crops.” *Bull. The Ohio State University*. (2000): 3.
- 3 Yorgancilar, A. “Screening Turkishand IWWIP germplasm (International winter wheat improvement program) for common bunt (*Tilletia foetida* (wallr.) Liro, *Tilletia caries* (D.C.) tul.) resistance under eskisehir field conditions.” *XIX Intern. Workshop on smuts and bunts. Izmir*, (2016): 54-55.
- 4 Goates, B.J. “Common bunt and dwarf bunt. In book”: Wilcoxson R.D., Saari E.E. (eds.), *Bunt and Smut Diseases of wheat: Concepts and methods of disease management.* Mexico, D.F.: CIMMYT, (1996): 12-25.
- 5 Kojshybaev, M. *Bolezni zernovyh kul’tur [Cereal diseases]* Almaty, 2002.
- 6 Kojshibaev, M., Jah’javi, A., Rsaliev, Sh.S., Zhanarbekova, A.B. “Dostizhenijai perspektivy selekcii ozimoj pshenicyna ustojchivost’ k boleznjam v Central’noj Azii.” [Achievements and prospects of selection of winter wheat for disease resistance in Central Asia] *Biologicheskie osnovy selekcii genofonda rastenij: Mater. mezhdunar. nauchn. konf.*, (2005): 117-121. (In Russian)
- 7 Chekmarev, V.V., Zelenava, Ju.V., Firsov, V.F., Levin, V.A. “Metodicheskie rekomendacii po ispytaniju himicheskikh preparatov idrugih sredstv protiv tverdojgo lovni pshenicy na iskusstvennom infekcionnom fone.” [Guidelines for testing chemicals and other anti-wheat smut products against an artificial infectious background] Tambov: Izdatel’skijdom TGU imeni G.R. Derzhavina, (2011): 46. (In Russian)
- 8 Matanguihan, J.B., Jones, S.S. “A new pathogenic race of *Tilletia caries* possessing the broadest virulence spectrum of known races.” *Plant Health Progress*, (2011). Online publication. Doi: 10.1094/PHP-2010-0520-01-RS.
- 9 <http://faostat.fao.org>
- 10 Hoffmann, J.A., Metzger, R.J. “Current status of virulence genes and pathogenic races of the wheat bunt fungi in the north-western USA.” *Phytopathology*, no 66 (1976): 657-660.
- 11 Paderina, E.V., Chmut, L. Ja. “Problemy selekcii zernovyh kul’tur na immunitet.” [Problems of selection of crops for immunity] *Selekcijai semenovodstvo*, no 1 (1995): 15-18. (In Russian)
- 12 Konovalov, J. B. “Selekcija rastenij na ustojchivost’ k boleznjam i vrediteljam.” [Plant breeding for resistance to diseases and pests] M.: Kolos, (1999): 135. (In Russian)
- 13 Oncica, F., Saulesku, N.N. “Sources of resistance to bunt (*Tilletia* spp.) in modern semidwarf winter wheat (*Triticum aestivum* L.).” *Romanian Agricultural Research*, no 24 (2007): 29-32.
- 14 Pozdnjakova, N.N., Aubekerova, N.G., Sulejmanova, Sh.S. “Sovremennoe sostojanie selekcii ustojchivyh k boleznjam sortov zernovyh kolosovyh kul’tur.” [The current state of selection of disease-resistant varieties of cereal crops] *Mat. mezhdunar. konf. «Sovremennye metody zashchity i sohraneniya bioraznoobrazija Kyrgyzstana»*. Bishkek, (2010): 151-155. (In Russian)
- 15 Kojshybaev, M. “Protravlivanie semjan zernovyh kul’tur v Kazahstane.” [Grain seed dressing in Kazakhstan] *Zashhitai karantin rastenij*, no 1 (2000): 14-16. (In Russian)
- 16 Menzies, J. G., Knox, R. E., Popovic, Z., Procunier, J. D. “Common bunt resistance gene Bt10 located on wheat chromosome 6D.” *Canadian Journal Of Plant Science*, no 86 (2006): 1409-1412.
- 17 McIntosh, R.A. “Catalogue of Gene Symbols for Wheat” 12th Intern. Wheat Genet. Symp. –Yokohama, Japan, (2013): 283.
- 18 Metzger, R.J., Schaller, C.W., Rohde, C.R. “Inheritance of resistance to common bunt in wheat, C.I. 7090.” *Crop Sci.*, no 19 (1979): 309-312.
- 19 Sunderman, D.W., Bruinsma, B. “Registration of four wheat cultivars.” *Crop Sci.*, no 15 (1975): 104-105.
- 20 Metzger, R.J., Schaller, C.W., Rohde, C.R. “Inheritance of resistance to common bunt in wheat.” *Crop Sci.*, no 19 (1979): 309-312.
- 21 Sunderman, D.W., Wise, M. “Registration of Ranger wheat.” *Crop Sci.*, no 13 (1973): 287.
- 22 Metzger, R.J., Silbaugh, B.A. “A new factor for resistance to common bunt in hexaploid wheats.” *Crop Sci.*, no 11 (1971): 66-69.
- 23 Gaudet, D.A. “Compatible and incompatible interactions in wheat involving the Bt-10 gene for resistance to *Tilletia tritici*, the common bunt pathogen.” *Phytopathology*, no 97 (2007): 1397-1405.
- 24 Quick, J.S., Souza, E., Sunderman, D.W. “Registration of ‘Fairview’ wheat.” *Crop Sci.*, no 33 (1993): 878.
- 25 Hiebert, C.W. “Genetics and mapping of seedling resistance to Ug99 stem rust in Canadian wheat cultivars ‘Peace’ and ‘Cadillac’.” *Theor. Appl. Genet.*, no 122 (2011): 143-149.
- 26 Krivchenko, V.I. “Izuchenie golovne ustojchivosti zernovyh kul’tur.” [Studying smut sustainability of crops] *Genetikai selekcija bolezne ustojchiviyh sortov kul’turnyh rastenij*. M., (1974): 156-170. (In Russian)
- 27 Riede, C.R., Anderson, J.A. “Linkage of RFLP markers to on aluminum tolerance gene in wheat.” *Crop Sci.*, no 36 (4) (1996): 905-909.
- 28 Chen, X.M., Line, R.F., Leung, H. “Genome scanning for resistance gene analogs in rice, barley, and wheat by high-resolution electrophoresis.” *Theor. Appl. Genet.*, no 97 (1998): 345-355.
- 29 Laroche, A., Demeke, T., Gaudet, D., Puchalski, B., Frick, M., and McKenzie, R. “Development of a PCR marker for rapid identification of the Bt10 gene for common bunt resistance in wheat.” *Genome*, no 43 (2000): 217-223.
- 30 Ismail Poyraz, N. “Gumus Comparison of resistance rates and detection of five resistance gens (BtS) in ten local wheat varieties against comman bunt disease” no 5 (2016): 37-45
- 31 Madenova, A.K., Kokhmetova, A.M., Atishova, M.N., Galymbek, K., Keishilov, Z.S. “Molecular screening for resistance to common bunt (*Tilletia caries*) of wheat.” *Journal of Biotechnology. Proc. of ‘European Biotechnology Congress 2019, Valencia, Spain, April 11-13, 305S*, (2019): 33-S88. <https://doi.org/10.1016/j.biotec.2019.05.185>

¹А.М. Мәлік , ¹Г.Ж. Абдиева ,

¹П.С. Уалиева , ¹А.А. Жұбанова , ²А.Т. Артманн ,

¹Н.Ш. Акимбеков , ¹К.Т. Тастанбек 

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы,
e-mail: azhar.malikkyzy@gmail.com

²Университет прикладных наук им. Ф.Х. Аахена Институт биоинженерии (IfB), Германия, г. Аахен

СКРИНИНГ МИКРООРГАНИЗМОВ-ДЕСТРУКТОРОВ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Аннотация. В настоящее время одной из экологических проблем является загрязнение природных экосистем стойкими органическими загрязнителями, обладающими высокой токсичностью. Пестициды, в том числе хлорорганические соединения, представляют особую опасность для окружающей среды и человека. Токсичные вещества из хранилищ для пестицидов могут вызвать серьезную угрозу для всех живых организмов.

В связи с вышеизложенным целью данного исследования явилось изучение микробного разнообразия почвы с места захоронения пестицидов и скрининг перспективных микроорганизмов-деструкторов СОЗ и продуктов их распада. В связи с этим было проведено определение микробного разнообразия образцов почв, взятых на территории Алматинской области, прилегающей к местам захоронения пестицидов.

Пробы почвенных образцов отбирали из 7 точек (п. Кызылкайрат, п. Бескайнар, п. Амангельды №1, п. Амангельды №2, п. Бельбулак, Бригада-2 – АО Племзавод «Алматы», п. Басши (контроль)) на территории Талгарского района Алматинской области, прилегающей к местам захоронения пестицидов. В результате исследований были отобраны штаммы микроорганизмы-деструкторы, обладающие деструктивной активностью в отношении стойких органических загрязнителей. Эти штаммы могут быть использованы для создания биопрепарата, для очистки почвы, загрязненных хлорорганическими пестицидами.

Ключевые слова: хлорорганические пестициды, микробное разнообразие, скрининг, микроорганизмы-деструкторы, идентификация, химические загрязнители.

¹А.М. Malik, ¹G.Zh. Abdieva, ¹P.S. Ualieva, ¹A.A. Zhubanova,

²А.Т. Artmann, ¹N.Sh. Akimbekov, ¹K.T. Tastambek

¹Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty,
e-mail: azhar.malikkyzy@gmail.com

²University of Applied Sciences F.H. Aachen Institute of Bioengineering (IfB),
Germany, Aachen

Screening of microorganisms – destructors of chlororganic pollutants

Abstract. At present, one of their ecological problems is the contamination of natural ecosystems by persistent organic pollutants, which have a high toxicity. Pesticides, including organochlorine compounds, are particularly hazardous for the environment and human. Toxic substances from pesticide storage facilities can pose a serious threat to all living organisms

In connection with the above, the goal of this study was to study the microbial diversity of soil from the burial place of pesticides and screening promising microorganisms – POP destructors and their decay products. In this regard, the microbial diversity of soil samples was taken from the territory of the Almaty region adjacent to the burial sites of pesticides.

Soil samples were taken from 7 points (v. Kyzylkayrat, v. Beskainar, v. Amangeldy №1, v. Amangeldy №2, v. Belbulak, v. Brigada-2 – Almaty Plemzavod, v. Bashy (control) of the Talgar territory the area of Almaty region adjacent to the pesticide burial sites. As a result of studies, strains of microorganisms-destructors with destructive activity against persistent organic pollutants were selected. These strains can be used to create a biological product, to clean up soil contaminated with chlorine pesticides.

Key words: organochlorine pesticides, microbial diversity, screening, destructive microorganisms, identification, chemical pollutants.

¹А.М. Мәлік, ¹Г.Ж. Абдиева, ¹П.С. Уалиева, ¹А.А. Жұбанова,

²А.Т. Артманн, ¹Н.Ш. Акимбеков, ¹К.Т. Тастанбек

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.,
e-mail: azhar.malikkyzy@gmail.com

²Ф.Х. Аахен атындағы қолданбалы ғылым университеті, Биоинженерия институты (IfB),
Германия, Аахен қ.

Хлорорганикалық ластағыштардың деструктор-микроорганизмдердің скринингі

Аннотация. Қазіргі таңда өзекті экологиялық проблемалардың бірі табиги объектілердің токсинділігі жоғары тұрақты органикалық қосылыстармен ластануы болып табылады. Пестициздердің ішінде, хлорорганикалық қосылыстар қоршаған орта мен адам үшін аса қауіптілігімен ерекшеленеді. Пестициздерге арналған қоймалардың токсинді заттары барлық тірі организмдер үшін үлкен қауіп төндіруі мүмкін.

Жоғарыда айтылған мәселені шешуге байланысты зерттеудің маңызы пестициздермен көмілген орындардан бөлініп алынған топырақтың микробтық ауантүрлілігін зерттеу және тұрақты органикалық қосылыстардың перспективті деструктор-микроорганизмдерінің скринингін жүргізу. Осыған байланысты Алматы облысының пестициздермен көмілген жерлеріне жақын орналасқан аумақтан бөлініп алынған топырақ, үлгілерінің микробтық ауантүрлілігін анықтау жүргізілді.

Топырақ үлгілерінің сыйнамалары 7 аймақтан (Қызылқайрат, Бесқайнар, Амангелді №1, Амангелді №2, Белбұлақ, Бригада-2 – «Алматы» Племзавод, Басшы аумақтарынан (бақылау) алынды. Зерттеулер нәтижелеріне сәйкес тұрақты органикалық ластағыштарға тәзімді деструктивті белсенділігі жоғары, деструктор-микроорганизм штаммдары іріктеліп алынды. Бұл штамдар хлорорганикалық пестициздермен ластанған топырақты тазалау процесінде биопрепарат жасауда қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: хлорорганикалық пестициздер, микробтық ауантүрлілік, скрининг, деструктор-микроорганизмдер, идентификация, химиялық ластағыштар.

Введение

Стойкие органические загрязнители (СОЗ) представляют собой токсичные органические соединения, которые устойчивы к большинству процессов деградации в окружающей среде, и следовательно, они имеют тенденцию сохраняться в окружающей среде, таким образом, биоаккумулируясь в организмах и биомагнифицируясь вдоль пищевых цепей и пищевых сетей в экосистемах [1].

СОЗ имеют тенденцию сохраняться в окружающей среде в течение длительных периодов времени, способны переносить на большие расстояния, биоаккумулироваться в тканях человека и животных и биомагнифицироваться в пищевых цепях и пищевых сетях и могут оказывать существенное неблагоприятное воздействие на здоровье человека и окружающую среду [2].

Воздействие СОЗ может вызвать серьезные проблемы со здоровьем, включая некоторые виды рака, врожденные дефекты, дисфункциональную иммунную и репродуктивную системы, большую подверженность болезням и даже снижение интеллекта [3]. Из всех известных на

сегодняшний день СОЗ хлороганические соединения, включая полихлорированные дibenзо-п-диоксины, полихлорированные дibenзофураны и полихлорированные дифенилы, получили наибольшее внимание из-за их стойкости в окружающей среде, биоаккумуляции, биомагнификации и опасные воздействия на биоту [4].

Несмотря на то, что СОЗ устойчивы к большинству процессов разложения в окружающей среде, в окружающей среде возможны некоторые молекулярные изменения, которые не обязательно приводят к более простым и менее токсичным соединениям [5]. Некоторые из метаболитов СОЗ одинаково сложны и даже более токсичны, чем исходные молекулы. Большинству процессов деградации СОЗ в окружающей среде помогают микроорганизмы. Тем не менее, периоды полураспада процессов биодеградации СОЗ значительно продолжительны, что объясняет их стойкость в окружающей среде [6].

В связи с вышесказанный целью данного исследования явилось изучение микробного разнообразия почвы с места захоронения пестицидов и скрининг перспективных микроорганизмов-деструкторов СОЗ и продуктов их распада.

Материалы и методы исследования

Проведены исследования по изучению микробного разнообразия образцов почв территории Алматинской области, прилегающей к местам захоронения пестицидов, и контрольные образцы. Пробы образцов почвы отбирали из 7 точек (п. Кызылкайрат, п. Бескайнар, п. Амангельды №1, п. Амангельды №2, п. Бельбулақ, Бригада-2 – АО Племзавод «Алматы», п. Басшы (контроль)) территории Талгарского района Алматинской области, прилегающей к местам захоронения пестицидов.

Отбор и подготовка проб к микробиологическому анализу.

Для отбора проб используют чистые стерильные стеклянные флаконы с плотно закрывающимися резиновыми пробками и колпачками из плотной бумаги.

Пробы почвы отбираются на каждом из участков в пяти точках по диагонали или по «конверту» (четыре точки по углам и одна в центре). Для приготовления среднего образца объемом 0,5 кг почву всех образцов одного участка высыпают на стерильный плотный лист бумаги и проводят тщательное перемешивание почвы в банке. Величина отобранных навесок почв диктуется степенью ее загрязненности и планируемыми работами. Перед посевом почву диспергируют [7].

Методы изучения микробного разнообразия объектов окружающей среды на территории, прилегающей к местам захоронения пестицидов, и выделения чистых культур из образцов почв.

Изучение микробного разнообразия объектов окружающей среды на территории, прилегающей к местам захоронения пестицидов, и выделение чистых культур из образцов почв проводили традиционными микробиологическими методами [7].

Методы скрининга микроорганизмов-деструкторов химических загрязнителей и методы определения деструктивной активности отобранных перспективных штаммов.

Для поиска деструкторов мы использовали штаммы из доминирующих популяций бактерий. Для этого производили посев всех выделенных штаммов на чашки Петри с агаризованной средой M9 с добавлением пестицида в качестве источника углерода 0,01%, 2,3,5-трифенил-тетразолия хлорида (ГТХ) в качестве индикатора дегидрогеназной активности бактерий [13]. Способности микроорганизмов разрушать пестициды свидетельствует окрашивание их

колоний из среды в красный цвет, что указывает на образование трифенилформазана (ТФФ). По этими способностями микроорганизмов отбирали штаммы-деструкторы для дальнейших исследований [8].

Молекулярно-генетическая идентификация выделенных штаммов микроорганизмов-деструкторов.

Идентификацию штаммов проводили методом определения нуклеотидной последовательности фрагмента 16S rRNA гена, с дальнейшим определением нуклеотидной идентичности с последовательностями, депонированными в международной базе данных Gene Bank. Были построены филогенетические деревья с нуклеотидными последовательностями референтных штаммов [9].

Результаты и обсуждение

Изучение микробного разнообразия почвы на территориях, прилегающих к местам захоронения пестицидов Алматинской области

Питание и загрязнение окружающей среды стимулируют адаптацию микроорганизмов и способствуют развитию разнообразных метаболических путей их выживания на нескольких сложных органических соединениях. Стойкие органические загрязнители (СОЗ) имеют высокую липофильную природу и оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду и здоровье человека в результате биомагнификации через пищевую цепь [10]. Действие хлорорганических соединений на мирофлору почвы оценивают определением наличия их в почве и соотношение различных групп микроорганизмов до и после обработки его пестицидами [11]. Чувствительность различных групп почвенных микроорганизмов к действию пестицидов разная [12]. В почвенной экосистеме обитают различные группы микроорганизмов, поэтому внесенные в нее хлорорганические соединения подвергаются деструктивному действию этих микроорганизмов, разлагающих как данный субстрат, так и продукты его распада.

В связи с этим, в работе было изучено микробное разнообразие образцов почв из следующих точек: п. Кызылкайрат, п. Бескайнар, п. Амангельды №1, п. Амангельды №2, п. Бельбулақ, Бригада-2 – АО Племзавод «Алматы». Контролем служили образцы почвы поселка Басшы, Кербулакского района Алматинской области. При исследований почвенных проб были определены аммонифицирующие,

целлюлозолитические, азотфикссирующие и гетеротрофные бактерии и плесневые грибы. Эти группы микроорганизмов обеспечивают самоочищающую способность почвы и участвуют в почвообразовательных процессах.

Результаты изучения микробного разнообразия в исследуемых пробах почвы представлены на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, в загрязненных почвах с мест захоронения пестицидов численность аммонифицирующих бактерий составила $1,1 \times 10^7 - 1,0 \times 10^8$ КОЕ/г, гетеротрофных бактерий – $1,1 \times 10^7 - 6,9 \times 10^7$ КОЕ/г, плесневых грибов – $4,2 \times 10^7 - 8,7 \times 10^7$ КОЕ/г и аэробных целлюлозолитических бактерий $9,0 \times 10^6 - 1,7 \times 10^7$ КОЕ/г. В пробах почвы Кызылкайрат доминировали

азотфикссирующие бактерии, в пробах Бескайнара аммонифицирующие бактерии. В почве образца Бельбулак преобладали плесневые грибы. В контрольном образце почвы поселка Басши общее число мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов составило $2,3 \times 10^4 - 5,2 \times 10^8$ КОЕ/г.

Благодаря своим характеристикам, ксенобиотики, пестициды могут отрицательно влиять на размножение полезных почвенных микроорганизмов и связанную с ними биотрансформацию в почве. Применение пестицидов приводит к снижению численности аммонифицирующих бактерий, происходит сдвиг микроценоза целлюлозоразрушающих микроорганизмов в почве [13].

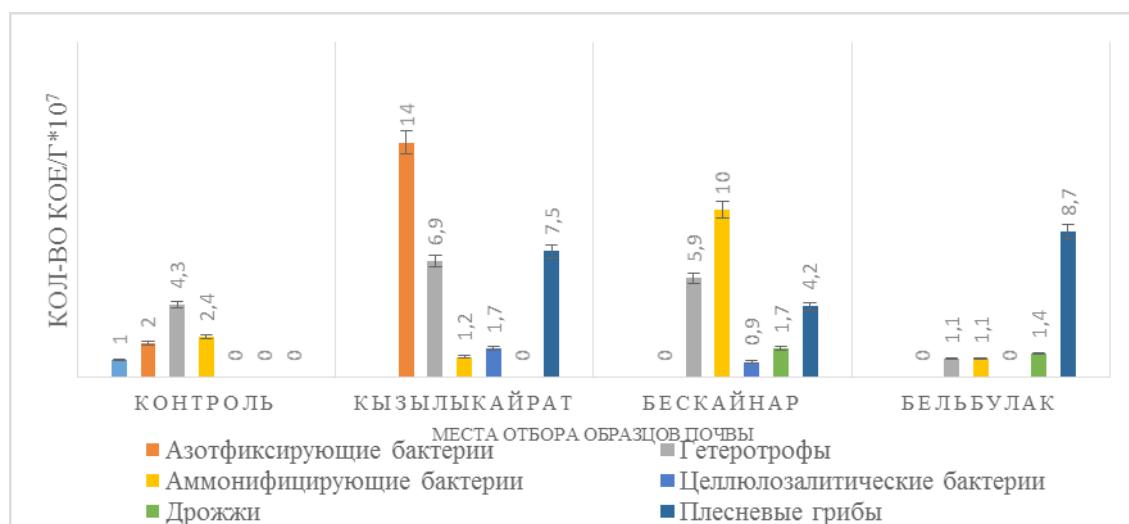


Рисунок 1 – Микробное разнообразие почв Кызылкайрат, Бескайнар и Бельбулак

В дальнейших работах были изучены качественный и количественный состав микрофлоры в исследуемых образцах почвы. На рисунке 2 представлены качественный и количественный состав микрофлоры в образцах почвы Кызылкайрат.

Как показали результаты исследований микробиологического состава почвы Кызылкайрат (рисунок 2), в микрофлоре численность азотфикссирующих бактерий составляет 59%, плесневых грибов 32%, гетеротрофных бактерий – 29%, аэробно-целлюлозолитических бактерий – 7%, аммонифицирующих бактерий – 5% от общего количества микроорганизмов. В микрофлоре почвы Кызылкайрат доминируют азотфикссирующие бактерии, плесневые грибы и гетеротрофные бактерии. Применения стойких

органических загрязнителей приводит к изменению видового состава микроорганизмов в микробных сообществах почв и к смене доминирующих форм микроорганизмов [14, 15]. На рисунках 3, 4 приведены результаты изучения качественного и количественного состава микрофлоры в образцах почвы Бескайнар и Бельбулак.

По результатам исследований в образцах почвы Бескайнар количество аммонифицирующих бактерий составило 43%, гетеротрофных – 26%, плесневых грибов – 19%, аэробно-целлюлозолитических бактерий – 4%, дрожжеподобных грибов – 8%. В микробоценозе почвы Бескайнар преобладают группы сапроптических микроорганизмов, в том числе аммонифицирующие и гетеротрофные бактерии, плесневые грибы.



Рисунок 2 – Качественный и количественный состав микрофлоры в образцах почвы п. Кызылкайрат

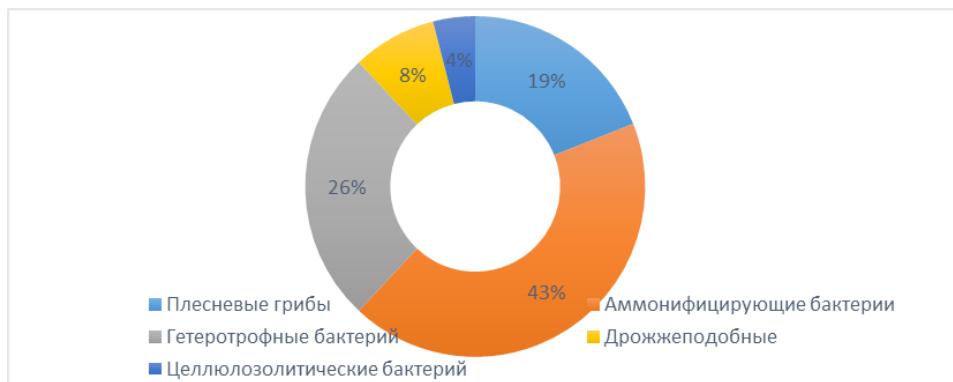


Рисунок 3 – Качественный и количественный состав микрофлоры в образцах почвы Бескайнар

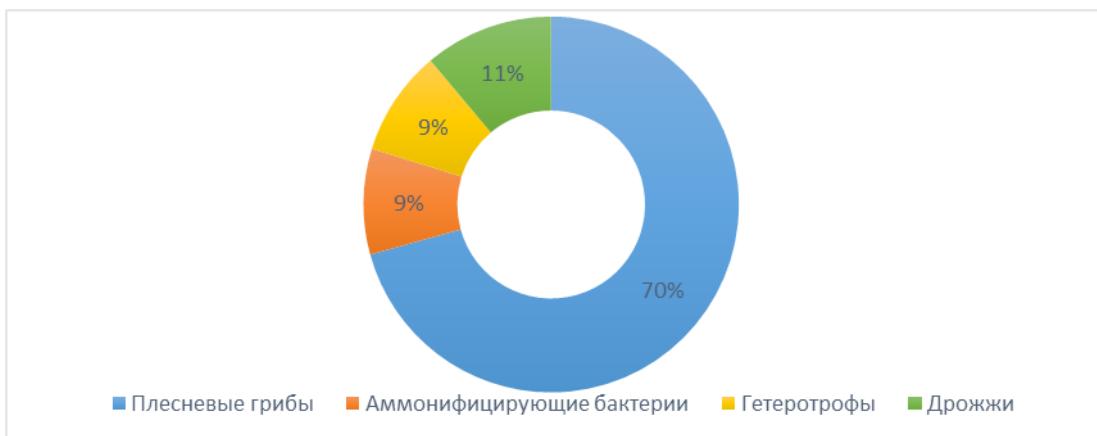


Рисунок 4 – Качественный и количественный состав микрофлоры в образцах почвы п. Бельбулак

Из рисунка 4 видно, что в микрофлоре образцах почвы с мест захоронения пестицидов п. Бельбулак доминируют плесневые грибы,

их количество составило 70%, а также встречаются дрожжи (11%), гетеротрофы (9%) и аммонифицирующие бактерии (9%). Грибы

играют ответственную роль в минерализации органического вещества почв, они разрушают не только клетчатку, но и лигнин. Деятельность грибов особо важна для образования в почве кислот, подкисляющих почвенный раствор, что очень важно для слабощелочной среды исследуемых почв.

На рисунке 5 представлены результаты исследований микробного разнообразия почв точек п. Амангельды №1, Амангельды №2 и п. Племзавод.

Анализ микробиологического состава почвы с мест захоронения пестицидов показал, что в загрязненной почве п. Амангельды №1 численность плесневых грибов составляет $3,5 \times 10^7$ КОЕ/г, гетеротрофов – $3,5 \times 10^7$ КОЕ/г, целлюлозолитических бактерий – $2,9 \times 10^7$ КОЕ/г,

а также численность дрожжей составляет $2,5 \times 10^7$ КОЕ/г. В почве п. Амангельды №2 численность плесневых грибов составляет $9,0 \times 10^7$ КОЕ/г, аэробно-целлюлозолитических бактерий – $6,3 \times 10^7$ КОЕ/г, азотфикссирующих бактерий – $6,0 \times 10^7$ КОЕ/г, аммонифицирующих бактерий – $4,7 \times 10^7$ КОЕ/г, гетеротрофов – $3,2 \times 10^7$ КОЕ/г. В образцах почвы п. Племзавод численность плесневых грибов составила $7,5 \times 10^7$ КОЕ/г, гетеротрофов – $5,4 \times 10^7$ КОЕ/г, аэробно-целлюлозолитических бактерий – $2,7 \times 10^7$ КОЕ/г, аммонифицирующих бактерий – $2,6 \times 10^7$ КОЕ/г, дрожжей – $3,4 \times 10^7$ КОЕ/г.

В ходе работы были изучены качественный и количественный состав микрофлоры в образцах почвы п. Амангельды №1, Амангельды №2, результаты представлены на рисунке 6.

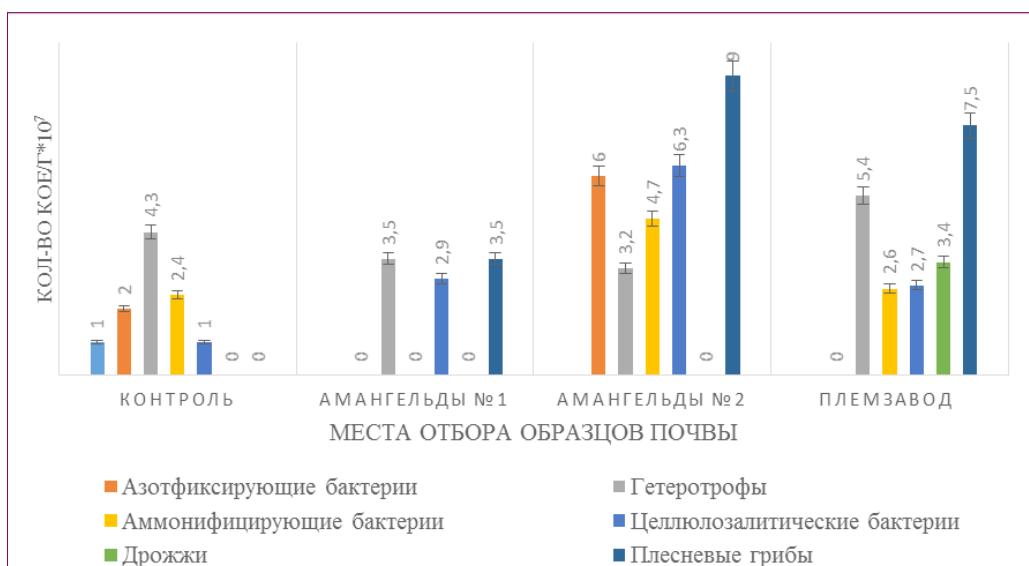


Рисунок 5 – Микробное разнообразие почв п. Амангельды №1, Амангельды №2, п. Племзавод

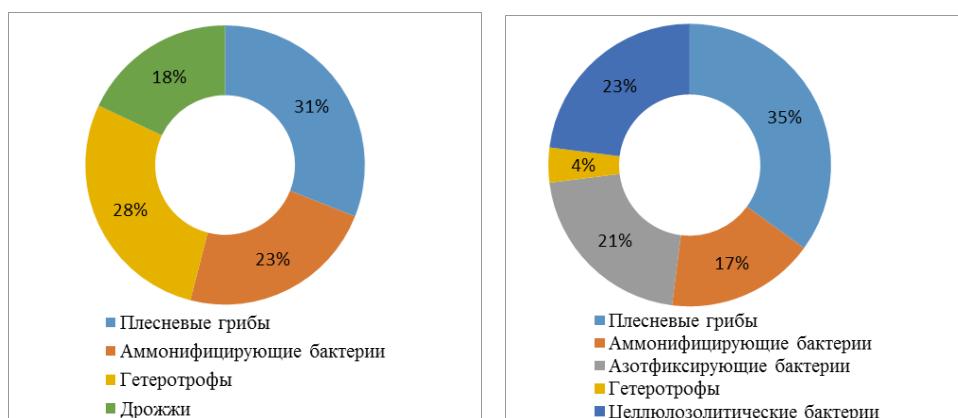


Рисунок 6 – Качественный и количественный состав микрофлоры в образцах почвы п. Амангельды №1 и Амангельды №2

В результате изучения качественного и количественного состава микрофлоры в образцах почвы п. Амангельды №1 было показано, что в микрофлоре доминируют плесневые грибы (31%), гетеротрофные бактерии (28%), аммонифицирующие бактерии (23%), дрожжи (18%). В образцах почв п. Амангельды №2 в микрофлоре доминируют плесневые грибы (35%), азотфиксацирующие бактерии (21%), аэробно-целлюлозолитические бактерии (23%), аммонифицирующие бактерии (17%), гетеротрофные бактерии (4%).

В дальнейших исследованиях был изучен качественный и количественный состав микрофлоры в образцах почвы Бригада-2 – АО Племзавод «Алматы» (рис.7).

Исследования качественного и количественного состава микрофлоры в образцах почвы Бригада-2 – АО Племзавод «Алматы» показали, что в микрофлоре доминируют плесневые грибы (39%) и гетеротрофные бактерии (28%). Численность целлюлозолитических, аммонифицирующих бактерий и дрожжей составляет 12%, 11% и 10% соответственно.

Таким образом, в результате изучения микробного разнообразия образцов почв установлено, что основная масса их относится к группе сапропитов, в том числе, к плесневым грибам, гетеротрофам, азотфиксирующими и аммонифицирующим бактериям.

Скрининг микроорганизмов-деструкторов СОЗ и продуктов их распада

Применение пестицидов было и остается одним из основных путей интенсификации сельскохозяйственного производства. Однако, будучи чужеродными химическими веществами, вносимыми в окружающую среду, они могут представлять опасность для природы и человека [16]. Биотехнологический подход к предупреждению нежелательных для биосфера последствий, основанный на использовании микроорганизмов-деструкторов, способных превращать молекулы ксенобиотиков в безопасные формы, является одним из самых современных и позволяет избежать образования продуктов вторичного загрязнения. Огромная роль в деградации циркулирующих в окружающей среде ксенобиотиков принадлежит почвенным бактериям. Поэтому современный этап исследований микробиологической деструкции ксенобиотиков характеризуется выраженным интересом к изучению физиологических, биохимических и генетических особенностей штаммов-деструкторов, анализу путей биотрансформации указанных соединений [17].



Рисунок 7 – Качественный и количественный состав микрофлоры в образцах почвы Бригада-2 – АО Племзавод «Алматы»

В связи с этим, в дальнейших исследованиях проводился скрининг эффективных микроорганизмов-деструкторов. Для выявления микроорганизмов-деструкторов пестицидов готовили плотную питательную среду с пестицидом. Производили посев на нее исследуемых культур микроорганизмов и культивировали с последующей оценкой их способности разлагать пестициды по образованию зоны, видимой в присутствии индикатора. Посев осуществляют параллельно на среду М 9 с пестицидом ДДТ в качестве источника углерода и на контрольную среду без пестицида. В качестве индикатора дегидрогеназной активности микроорганизмов использовали 0,01%, 2,3,5-трифенил-тетразолия хлорида (ТТХ). Деструктивную активность микроорганизмов оценивали по образованию зоны красного цвета. Микроорганизмы-деструкторы пестицидов выявляли по наличию окрашенной зоны по сравнению с контролем. Деструктивная активность культур также оценивалась по активности роста и сохранению жизнеспособности клеток в присутствии хлороганических соединений. Скрининг активных микроорганизмов-деструкторов СОЗ и продуктов их распада проводили среди 11 штаммов выделенных культур из образцов почвы, прилегающей к местам захоронения пестицидов по их способности к росту в присутствии пестицида в качестве единственного источника углерода [18].

В результате исследований 5 штаммов проявили наименьшую активность роста в отношении пестицида. Штаммы СК2, КС1, КС2, АК1, СА1, СА3, выделенные с места захоронения пестицидов, обладали способностью к активному росту.

В результате скрининга нами отобрано 6 перспективных культур микроорганизмов, способных к активному росту на среде с

хлорорганическим соединением ДДТ. Результаты по изучению роста культур в присутствии пестицида представлены на рисунке 8.

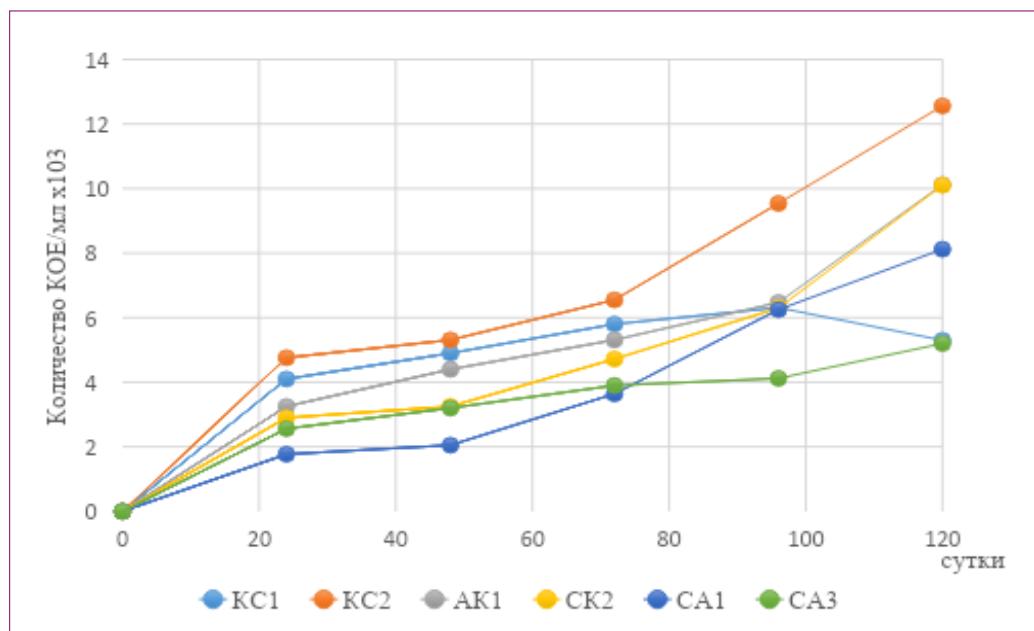


Рисунок 8 – Рост культур в среде с добавлением ДДТ в качестве единственного источника углерода

Как видно из рисунка 10, штаммы KC2, AK 1, CK2, CA1 проявили активный рост в присутствии ДДТ по сравнению со штаммами KC1, CA3. Численность клеток штамма KC2 через 24 часа составила $4,76 \times 10^6$ КОЕ/г и AK1 $3,25 \times 10^6$ КОЕ/г, на пятые сутки количество клеток было в пределах $1,3 \times 10^7$ КОЕ/г и $1,2 \times 10^7$ КОЕ/г соответственно. Численность клеток штамма CK2 через 24 часа составила $2,9 \times 10^6$ КОЕ/г, на пятые сутки $1,1 \times 10^7$ КОЕ/г, эти показатели штамма CA1 были в пределах $1,8 \times 10^6$ КОЕ/г – $8,12 \times 10^6$ КОЕ/г соответственно.

По результатам исследований скрининга все штаммы показали хороший рост в среде с добавлением ДДТ как единственного источника углерода, что свидетельствует о том, что штаммы в качестве единственного источника углерода используют ДДТ, так как обладают деструктивной активностью по отношению к пестицидам. Как видно, штаммы KC2, AK1, CK2, CA1 обладают более высокой деструктивной активностью по отношению к ДДТ по сравнению со штаммами KC1, CA3. Таким образом, исследуемые культуры микроорганизмов при наличии в среде пестицида ДДТ проявляют различные уровни дегидрогеназной активности,

что свидетельствует о различной способности этих культур разлагать пестициды.

Деструктивную активность отобранных 6 штаммов определяли по изменению уровня дегидрогеназной активности культур.

На рисунке 9 представлен рост культур микроорганизмов-деструкторов на среде с добавлением ДДТ.

Как видно из рисунка 9, штаммы культур микроорганизмов-деструкторов на среде с добавлением ДДТ образуют поверхностные колонии размером 1,5-2 мм. Культуры на среде M9 с добавлением ДДТ в качестве единственного источника углерода меняют начальный белый – матовый цвет на красный, что объясняется образованием восстановленного трифенилформазана (ТФФ) в среде [19]. Качественную оценку способности микроорганизмов разрушать пестициды осуществляют с помощью визуального наблюдения за изменением уровня дегидрогеназной активности микроорганизмов по размерам зоны их роста на плотной питательной среде M9, окрашенной за счет цветной реакции с реагентом ТТХ, добавленного в среду и восстанавливавшегося из бесцветной соли в соединении ТФФ красного

цвета при окислительно-восстановительных реакциях микробного разложения пестицида [20].

В результате изучения деструктивной активности штаммов было выявлено, что штаммы микроорганизмов *CK2*, *KC1*, *KC2*, *AK1*, *CA1*,

CA3 способны разрушать препарат, что свидетельствовало об окрашивании колоний и среды вокруг них в красный цвет. Это указывало на образование восстановленного трифенилформазана (ТФФ).

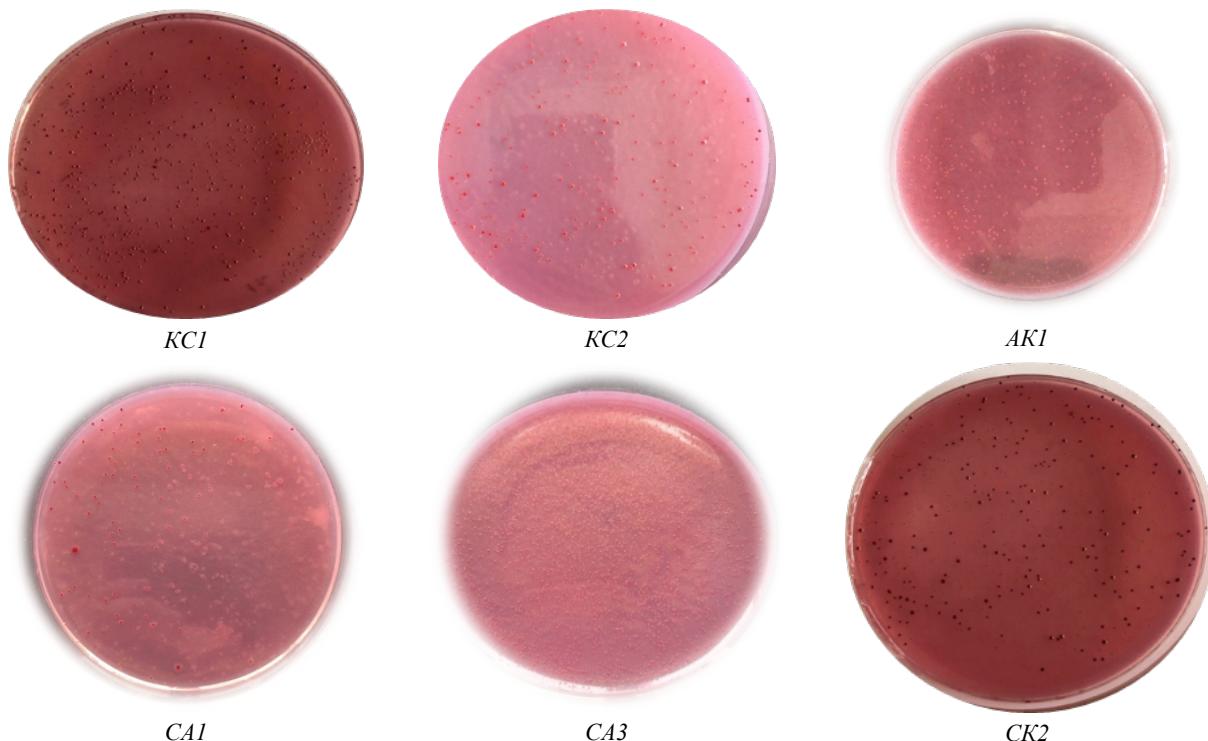


Рисунок 9 – Рост культур микроорганизмов-деструкторов на среде с добавлением ДДТ

Таким образом, показатель уровня дегидрогеназной активности микроорганизмов можно использовать для выявления штаммов-деструкторов пестицидов. Скрининг культур микроорганизмов, выделенных из загрязненных почв, позволяет выявить штаммы, обладающие деструктивной активностью по отношению к пестицидам, представляющим экологическую опасность. На основе перспективных штаммов-деструкторов можно создать биопрепараты для биоремедиации загрязненных объектов окружающей среды.

Заключение

1. Изучено микробное разнообразие образцов почвы, отобранных из точек п. Кызылкайрат, п. Бескайнар, п. Амангельды №1, п. Амангельды №2, п. Бельбулак, Бригада-2 – АО Племзавод «Алматы», прилегающих к местам захоронения пестицидов Талгарского района Алматинской области.

2. Дано характеристика разнообразия микробной и грибной флоры изученных образцов почв. Общее число мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (МАФАнМ) контрольного образца почвы поселка Басши составило $2,3 \times 10^4$ - $5,2 \times 10^8$ КОЕ/г. Анализ микробиологического состава почв с мест захоронения пестицидов показал, что в загрязненной почве п. Кызылкайрат доминировали азотфикссирующие бактерии (59%), в пробах Бескайнар–аммонифицирующие бактерии (43 %), в почве образца Бельбулак преобладали плесневые грибы (70%).

3. В ходе скрининга 11 культур микроорганизмов, выделенных из загрязненных почв, были отобраны 6 перспективных штаммов-деструкторов. Активность их роста и сохранение жизнеспособности в присутствии хлорорганических загрязнителей оценивали по уровню дегидрогеназной активности культур.

Литература

- 1 Thyssen, Wodageneh. FAO requires financial support for the disposal of obsolete pesticides in Africa and the Near East. – 2008. – Vol. 11, №29. – P. 19–23.
- 2 Eugenio N., Pennock A. Soil Pollution a hidden reality // Rome, FAO. – 2018. – №3. – P. 142.
- 3 Nowak and Sigmund. Evolution of Indirect Reciprocity by Image Scoring. – 2008. -Vol. 23, №25. – P. 9-15.
- 4 Díaz-López M., Solarization-based pesticide degradation results in decreased activity and biomass of the soil microbial community // Geoderma. – 2019. – №6. – P. 15.
- 5 Васнецова Е. В., Ксенофонтова О. Ю., Тихонова Д. А., Филимонова Е. А., Савина К. Поиск штаммов-деструкторов пестицидов прометрина, гхцг и 4,4-ддт в почве территории захоронения пестицидов в Саратовской области // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2016. – Vol. 16, №6. – С. 3.
- 6 Иванцова Е.А. Влияние пестицидов на микрофлору почвы и полезную биоту. – Саратов: СГТУ, 2012. –Vol. 8, №6. – С. 114-118.
- 7 Нетрусова А. И. Большой практикум по микробиологии // учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: ИЦ «Академия», 2005. – №23. – С. 608.
- 8 Третьякова С.Э. Создание биопрепарата на основе штамма-деструктора прометрина *Pseudomonas putida* П2, иммобилизованного на микрокапсулах, для ремедиации загрязненных прометрином почв. – Саратов: СГТУ, 2012. – Vol. 5, №56. – С. 114-118.
- 9 Lucélia C., Melline F.N., Sanderson T.S., Gileno V.L., eds. The metagenomic landscape of xenobiotics biodegradation in mangrove sediments: Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2019. – Vol. 7, №23. – С. 232-240.
- 10 Neelum A., Sardar K., Yaying L., Ningguo Z., eds. Influence of biochars on the accessibility of organochlorine pesticides and microbial community in contaminated soils // Science of The Total Environment. – 2019. – Vol. 3, №7. – P. 551-560.
- 11 Clayton R.A., Sutton G., Hinkle P.S., Bult Jr.C., eds. Intraspecific variation in small-subunit rRNA sequences in GenBank: why single sequences may not adequately represent prokaryotic taxa // International Journal of Systematic Bacteriology. – 2005. – Vol. 16, №4. – P. 595-599.
- 12 Raj K.R., Vivek K.G., Abhay B., Subodh T., eds. Comparative microbiome analysis of two different long-term pesticide contaminated soils revealed the anthropogenic influence on functional potential of microbial communities // Science of The Total Environment. – 2019. – Vol. 12, №41. – P. 413-423.
- 13 Головлёва Л.А. Деградация пестицидов микроорганизмами: возможность, ограничения и практические перспективы // Тр. Ин-та микробиологии и вирусологии. – 2000. – Vol.11. – С. 154.
- 14 Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В., Березин Г.И. Реакция почвенной микробиоты на действие пестицидов // Теоретическая и прикладная экология. – 2012. – Vol. 3, №7. – С. 41-52.
- 15 Jiayi T., Jiachao Z., Liheng R., Yaoyu Zh., eds. Diagnosis of soil contamination using microbiological indices // A review on heavy metal pollution: Journal of Environmental Management. – 2019. – Vol. 17, №11. – P. 121-130.
- 16 Головлёва Л.А., Финкельштейн Э.И., Перцова Р.Н. Роль микроорганизмов в разложении пестицидов в окружающей среде // Результаты научных исследований практику сельского хозяйства. – М.: Наука, 2002. – Vol. 24. – С. 64-73.
- 17 Praveen S., Milan V.K., Shivakantkumar S.A., Sudisha J. Influence of triazole pesticides on tillage soil microbial populations and metabolic changes // Science of The Total Environment. – 2019. – Vol. 9, № 15. – P. 23-25.
- 18 Feng Y., Minard R.D., Bollag J.-M. Photolytic and microbial degradation of 3,5,6-trichloro-2-pyridinol. // Environ. Toxicol. and Chem. – 2008. – Vol. 42, №6. – P. 2334-2344.
- 19 Brusa T., Del Puppo E. Microbial degradation of the sulfonylurea herbicides // Current knowledge. – 2005. – Vol. 22. – P. 321-330.
- 20 Vázquez C., Copes W., Gonzalez D., Quagliano J. Microbiological assessment of the organophosphorous pesticide methyl azinphos persistence in Argentinian productive soil // Toxicology Letters. – 2006. – Vol. 5, №33. – P. S248-S249.

References

- 1 Thyssen and Wodageneh. “FAO requires financial support for the 7 of obsolete pesticides in Africa and the Near East”11, no. 29 (2008): 19–23.
- 2 Eugenio, N. and Daniel, A. “Soil Pollution a hidden reality”. Rome, FAO, no. 3 (2018): 142.
- 3 Nowak and Sigmund. “Evolution of Indirect Reciprocity by Image Scoring”. 23, no. 25 (2008): 9–15.
- 4 Díaz-López, M., “Solarization-based pesticide degradation results in decreased activity and biomass of the soil microbial community”. Geoderma, no. 6 (2015): 15.
- 5 Vasnetsova, E., Ksenofontova, O., Tikhonova, D., Filimonova, E., Savina, K. “Poisk shtammov destruktivnykh pestitsidov prometrin, daun i 4,4-y den’ v pochve pestitsidnogo mogil’nika v Saratovskoy oblasti” [Search for strains of destructive pesticides of prometrin, country and 4,4th day in the soil of the pesticide burial area in Saratov areas]. Izv. Sarat. universit. New ser. Ser. Chemistry. Biology. Ecology 16, no. 6. (2016): 3.
- 6 Ivantsova, E. “Vliyanie pestitsidov na mikrofloru pochvy i poleznuyu biotu” [The influence of pesticides on the microflora of the soil and beneficial biota]. Saratov: SSTU 8, no. 6. (2012): 114-118.
- 7 Netrusova, A. Bol’shaya masterskaya po mikrobiologii [Big workshop on microbiology] textbook. allowance for students. higher textbook. institutions under the editorship of M.: IC “Academy, 2005.

- 8 Tretyakova, S. "Sozdaniye biopreparata na osnove prometrin-destruktivnogo shtamma Pseudomonas putida P2, immobilizovannogo na mikrokapsulakh, dlya vosstanovleniya zagryazneniykh prometrinom pochv" [Creation of a biological product based on the prometrin-destructive strain Pseudomonas putida P2 immobilized on microcapsules for the remediation of prometrin-contaminated soils]. Saratov: SSTU 5, no. 56. (2012): 114-118.
- 9 Lucélia, M., Sanderson and Gileno Villa. "The metagenomic landscape of xenobiotics biodegradation in mangrove sediments". Ecotoxicology and Environmental Safety 7, no. 23 (2019): 232-240.
- 10 Neelum, S., Yaying and Ningguo Ziera. "Influence of biochars on the accessibility of organochlorine pesticides and microbial community in contaminated soils". Science of The Total Environment 3, no. 7 (2019): 551-560.
- 11 Clayton, Sutton, Hinkle and Chris Fields. "Intraspecific variation in small-subunit rRNA sequences in GenBank: why single sequences may not adequately represent prokaryotic taxa". International Journal of Systematic Bacteriology 16, no. 4 (2005): 595-599.
- 12 Raj, Vivek, Abhay and Subodh Tilla. "Comparative microbiome analysis of two different long-term pesticide contaminated soils revealed the anthropogenic influence on functional potential of microbial communities". Science of The Total Environment 12, no. 41 (2019): 413-423.
- 13 Golovleva, L. "Razlozheniye pestitsidov mikroorganizmami: vozmozhnosti, ograniceniya i prakticheskiye perspektivy" [The degradation of pesticides by microorganisms: the possibility, limitations and practical prospects]. Tr. Institute of microbiol. and viral 11, (2000): 154.
- 14 Domracheva, L., Ashikhmina, T., Kondakova, L., Berezin, G. Reaktsiya pochvennoy mikrobioty na pestitsidy [Soil microflora response to pesticides]. Theoretical and Applied Ecology 3, no. 7 (2012): 41-52.
- 15 Jiayi, Jiachao, Liheng and Yaoyu Zhan. "Diagnosis of soil contamination using microbiological indices: A review on heavy metal pollution". Journal of Environmental Management 17, no. 11 (2019): 121-130.
- 16 Golovleva L., Finkelstein E. and Pertsova, R. Rol' mikroorganizmov v razlozenii pestitsidov v okruzhayushchey srede [The role of microorganisms in the decomposition of pesticides in the environment]. The results of scientific research in agricultural practice: M.: Nauka 24, 2002.
- 17 Praveen, Milan, Shivakantkumar and Sudisha Julia. "Influence of triazole pesticides on tillage soil microbial populations and metabolic changes". Science of The Total Environment 15, no. 9 (2019): 23-25.
- 18 Feng, M. and Bollag, J. "Photolytic and microbial degradation of 3,5,6-trichloro-2-pyridinol". Environ. Toxicol. and Chem 42, no. 6 (2008): 2334-2344.
- 19 Brusa T., Del Puppo E. "Microbial degradation of the sulfonylurea herbicides". Current knowledge 22, (2005): 321-330.
- 20 Vázquez, Copes, Gonzalez and Quagliano Jenn. "Microbiological assessment of the organophosphorous pesticide methyl azinphos persistence in Argentinian productive soil". Toxicology Letters 5, no. 33 (2006): S248-S249.

А.А. Усербаева , А.Е. Бейсембек , Б.Д.Косалбаев ,
К. Рысбекулы , К. Болатхан , А.Б. Какимова , Б.К. Заядан 

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы,
e-mail: zbolatkhan@gmail.com

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ СО₂ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ШТАММОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

Аннотация. Накопление углекислого газа (CO₂) в атмосфере, а также загрязнение водных объектов тяжелыми металлами являются экологическими проблемами, связанными с многочисленными воздействиями на экосистемы. Выращивание фотосинтетических микроорганизмов, эффективно поглощающих CO₂, представляется перспективным решением, так как биомасса цианобактерий может быть использована для получения ценных биопродуктов. Интерес к влиянию высоких концентраций CO₂ на активность цианобактерий растет в связи с исследованиями очистки атмосферы от промышленных загрязнений с помощью цианобактерий как биофильтров, благодаря их способности к интенсивному росту в условиях повышенного содержания CO₂ в атмосфере. Цианобактерии являются удобным объектом для исследований благодаря высокой скорости роста и управляемости их биосинтеза. В данной статье представлены результаты влияния различных концентраций углекислого газа на продуктивность штаммов цианобактерий. Устойчивость к ингибирующим концентрациям CO₂ является видоспецифичной и изменяется в широком диапазоне значений. Изучено влияние углекислого газа в концентрации 2%, 4% и 8% на скорость роста цианобактерий, а также проведена сравнительная оценка воздействия повышенных концентраций углекислого газа на прирост биомассы по показаниям оптической плотности и флуоресцентной активности. Определено, что концентрации углекислого газа 2–4 % оказывают положительное влияние на продуктивность исследуемых культур цианобактерий. Установлено, что повышение концентрации CO₂ до 8 % ведет к снижению показателей роста цианобактерий. Было установлено, что штамм *Cyanobacterium sp. IPPAS B-1200* был отобран как наиболее продуктивный штамм из изученных цианобактерий по выходу сухой биомассы, флуоресцентной активности и характеризуется активным ростом при концентрации CO₂ в воздухе – 4%.

Ключевые слова: углекислый газ, цианобактерии, продуктивность биомассы, активность флуоресценции.

A.A. Userbayeva, A.E. Beisembek, B.D. Kossalbayev,
K. Rysbekuly, K. Bolatkhan, A. Kakimova, B. K.Zayadan
Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty,
e-mail: zbolatkhan@gmail.com

Effects of various CO₂ concentrations on the productivity of cyanobacterial strains

Abstract. The accumulation of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere, as well as pollution of water objects with heavy metals, are environmental problems associated with numerous impacts on ecosystems. The cultivation of photosynthetic microorganisms that efficiently absorb CO₂ is a promising solution, since the biomass of cyanobacteria can be used to produce valuable bioproducts. Interest in the effect of high concentrations of CO₂ on the activity of cyanobacteria is growing in connection with studies of cleaning the atmosphere from industrial pollution using cyanobacteria as biofilters, due to their ability to grow rapidly in conditions of high CO₂ content in the atmosphere. Cyanobacteria are a convenient object for research due to the high growth rate and controllability of their biosynthesis. This article presents the results of the influence of different concentrations of carbon dioxide on the productivity of strains of cyanobacteria. Resistance to inhibitory concentrations of CO₂ is species-specific and varies over a wide range of values. The effect of carbon dioxide at a concentration of 2%, 4%, and 8% on the growth rate of cyanobacteria was studied, and a comparative assessment of the effect of increased carbon dioxide concentrations on biomass growth from the readings of optical density and fluorescence activity was carried out. It was determined that carbon dioxide concentrations of 2–4% have a positive

effect on the productivity of the studied cultures of cyanobacteria. It was found that increasing the concentration of CO_2 to 8% leads to a decrease in growth rates of cyanobacteria. It was determined that the strain Cyanobacterium sp. IPPAS B-1200 was selected as the most productive strain from the studied cyanobacteria according to the yield of dry biomass, fluoresce activity and characterized by active growth at a concentration of CO_2 in air – 4%.

Key words: Carbon dioxide, cyanobacteria, biomass productivity, fluorescence activity

А.А. Усербаева, А.Е. Бейсембек, Б.Д. Қосалбаев,
К. Рысбекулы, К. Болатхан, А.Б. Какимова, Б.Қ. Заядан
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.,
e-mail: zbolatkhan@gmail.com

Әр түрлі CO_2 концентрациясының цианобактерия штаммдарының өнімділігіне әсері

Аннотация. Атмосферада көмірқышқыл газының (CO_2) артық мөлшерде жинақталуы, сондай-ақ, су объектілерінің ауыр металдармен ластануы – күрделі экологиялық мәселелер болып табылады. Осы түрғыда, CO_2 -ны тиімді сініретін фототрофты микроорганизмдерді өсіру перспективті әрекет болып табылады, өйткені алынған биомассаны пайдалы биоенімдер алу үшін қолдануға болады. CO_2 жоғары концентрациясының цианобактериялардың өсу көрсеткішіне әсер етуіне деген қызығушылық цианобактерияларды биофільтрлер ретінде өнеркәсіптік орындарынан атмосфераға шыққан қалдық заттардан тазарту түрғысындағы зерттеулерге байланысты арту үстінде. Цианобактериялар – өсу жылдамдығы және биосинтез процесінің оңай басқарылуының арқасында зерттеуге ынғайлы нысан болып табылады. Бұл мақалада цианобактерия штаммдарының өнімділігіне көмірқышқыл газының әртүрлі концентрацияларының әсер ету нәтижелері берілген. Цианобактериялардың CO_2 газының концентрациясына деген сезімталдығы түрлік ерекшеліктіре байланысты әртүрлі болып келеді. 2%, 4% және 8% концентрациясында көмірқышқыл газының цианобактериялардың өсу көрсеткішіне әсері зерттелді және оптикалық тығыздық пен флуоресценция белсенділігі тіркеліп, көміртегі диоксиді мөлшерінің жоғарылауы биомасса өнімділігіне әсерін салыстырмалы түрде зерттеу жүргізілді. Көмірқышқыл газының 2-4% концентрациясы цианобактериялардың штаммдарының өнімділігіне он әсер ететіндігі анықталды. CO_2 концентрациясын 8%-ға дейін арттыру цианобактериялардың өсу қарқынының төмендеуіне әкелетіні байқалды. Cyanobacterium sp. IPPAS B-1200 штаммы құрғақ, биомасса, флуоресценция қарқындылығы бойынша зерттелген цианобактериялармен салыстырғанда ең өнімді штамм ретінде таңдалынып, ауда CO_2 – 4% концентрациясында белсенді өсетіндігі анықталды.

Түйін сөздар: көмірқышқыл газы, цианобактерия, биомасса өнімділігі, флуоресценция активтілігі.

Введение

С тенденцией увеличения концентрации углекислого газа в атмосфере, вызванного не только в локальных но и в глобальных масштабах, исследования в аспектах влияния углекислого газа на окружающую среду приобретают всю большую актуальность. Признанные недостатки в области устойчивого развития, а также серьезное ухудшение состояния окружающей среды и проблемы глобального потепления, вызванное антропологическими выбросами CO_2 , являются основными проблемами, стоящими сегодня перед миром [1]. Так же, изменения условий окружающей среды вызывают дисбаланс темновых и световых реакций фотосинтеза, что приводит к нарушению функциональной активности растительной клетки. Важнейшими факторами окружающей среды являются свет

и углекислый газ – основные субстраты для световых и темновых реакций фотосинтеза [2]. Адаптационные изменения в структурно-функциональном состоянии фотосинтетического аппарата, а также изменения в клеточном метаболизме растений происходят в ответ на изменения освещенности [3]. Однако, цианобактерии играют важную роль в фиксации CO_2 , поэтому, культивируя их можно уменьшить выброс CO_2 , и в тоже время получить биомассу микроводорослей, представляющую большую ценность в биоэнергетике. Однако в этом подходе процесс культивирования микроводорослей играет важную роль, поскольку он напрямую связан с механизмом фиксации микроводоросли и цианобактерии – CO_2 и характеристиками производства их биомассы [4]. Необходимо отметить, что в отличие от широких исследований действия углекислого газа на организм человека и животных,

влияние углекислого газа на метаболические процессы растительной клетки изучено гораздо в меньшей степени. Механизмы ингибирования фотосинтеза избыточной концентрацией CO₂ на сегодняшний день остаются не достаточно освещенными [4]. Угнетение роста фототрофных микроорганизмов при высоких концентрациях CO₂ связывали с его отрицательным влиянием на интенсивность фотосинтеза. В более поздних работах ингибирование фотосинтеза объясняли с точки зрения подкисления цитоплазмы в результате образования кислых продуктов гидратации диоксида углерода [5]. Микроводоросли и цианобактерии обладают гораздо более высокой устойчивостью к высоким концентрациям CO₂, по сравнению с высшими растениями. Увеличение концентрации CO₂ в окружающей среде до 1-5% активирует рост и фотосинтез микроводорослей [6]. Устойчивость к ингибирующим концентрациям CO₂ является видоспецифичной и изменяется в широком диапазоне значений. Последнее, возможно, связано с участием этих организмов в изменении газового состава атмосферы из аноксической, богатой CO₂, в кислородную и в становлении биосфера [6,7]. Показано, что экстремально высокая концентрация CO₂, являясь стрессовым фактором, вызывает глубокие изменения в структуре и метаболизме микроводорослей, приводя к переходу клеток к специализированным биосинтезам и гипертрофированному накоплению липидов и углеводов [8]. Интерес к влиянию высоких концентраций углекислого газа на активность микроводорослей цианобактерий возник в последние 30 лет, в том числе, в связи с проектами очистки атмосферы от промышленных загрязнений с помощью микроводорослей как биофильтров, благодаря их способности к интенсивному росту в условиях повышенного содержания CO₂ в атмосфере [8]. Микроводоросли и цианобактерии обладают огромным потенциалом в рециркуляции и биоремедиации CO₂, а также в производстве химической энергии в виде биомассы [9]. И поскольку, одним из основных направлений работ по охране природных ресурсов является внедрение новых безотходных технологических процессов, используя штаммы цианобактерий, являющиеся активными продуцентами жирных кислот в очистке воздушных ресурсов от CO₂, предоставляется возможность попутного получения дешевой биомассы микроводорослей [10], обладающей высокой ценностью для получения альтернативных видов биотоплива. Однако подобные исследования требуют предварительного исследования влияния углекислого газа на

выживаемость культур и подбора его концентраций, благоприятных для роста микроводорослей [11,12].

В связи с этим, целью данного исследования было подобрать концентрации CO₂, оптимальные для культивирования штаммов цианобактерий – продуцентов жирных кислот.

Материалы и методы исследования

Объектами данной работы являлись коллекционные штаммы цианобактерий *Cyanobacterium* sp. IPPAS B-1200, *Cyanobacterium aporium* IPPAS B-1201, *Synechococcus elongatus* 7942, *Desertifilum* sp. IPPAS B-1220 из коллекции фототрофных микроорганизмов КазНУ им. аль-Фараби.

Выращивание накопительной культуры проводили на жидких средах BG-11, Заррука [13,14,15]. Для проведения эксперимента клетки исследуемых цианобактерий непрерывно выращивали в сосудах емкостью 500 мл со стеклянными барботерами при температуре 25°C при искусственном освещении с интенсивностью света 300 мкмоль/м² и аэрацией стерильным газом и смесью воздуха, обогащенной 2%, 4%, 8% CO₂ [15]. Аэрация осуществлялась с помощью воздушного компрессора BOYU с воздушным насосом S-4000B (Китай). Концентрация CO₂ регулировалась ротамером РМА-0,063 Г (Россия). Рост культур был измерен как изменение оптической плотности на спектрофотометре PD – 303UV (Япония). Продуктивность биомассы культур определяли по методу Сиренко [16], клетки осаждали с помощью центрифуги 5810R (Eppendorf, Германия).

Коэффициент скорости роста культур цианобактерий рассчитывали по приросту численности клеток в экспериментальных сосудах по уравнению (1):

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{N_t}{N_0} \quad (1)$$

где N₀ – исходная численность клеток; N_t – численность клеток через время t.

Постоянную флуоресценцию хлорофилла а (F₀) в клетках исследуемых цианобактерий измеряли с помощью флуориметра AquaPen AP 100 (Чехия). Полученные данные флуоресценции разделили на 10000 единиц, значения представлены на относительных единицах (о.е.). Определение сухого веса осуществляли в два этапа. На первом этапе определяли общий сухой вес (цианобактерии + соли), для этого клетки осаждали центрифугированием при 5000

оборотов в минуту. Культуру высушивали при 80°C в течение трех дней. После выпаривания и сушки материала чашки вновь взвешивали на аналитических весах и по разнице веса определяли общий сухой вес (г/л). На втором этапе сухой остаток заливали небольшим количеством дистиллированной воды. После полного растворения соли раствор перемешивали и вместе с нерастворимой частью помещали в мерную пробирку, где дистиллированной водой доводили до объема, равного объему образца на первом этапе, и далее подвергали центрифугированию. После центрифугирования отбирали часть раствора над осадком и тем же методом, что и для определения общего сухого веса, определяли сухой вес соли в исследуемом образце (г/л). По разнице между общим сухим весом образца и сухим весом соли определили сухой вес цианобактерий [16].

Результаты и обсуждение

Для изучения способности поглощения углекислого газа штаммами цианобактерий – продуцентами жирных кислот, нами проведен сравнительный анализ показателей постоянной флуоресценции, скорости роста клеток и накопление сухого веса у коллекционные штаммов цианобактерий: *Cyanobacterium* sp. IPPAS B-1200, *Desertifilum* sp. IPPAS B-1220, *Synechococcus elongatus* 7942, *Cyanobacterium aponium* IPPAS B-1201.

Скрининг экспериментальных культур цианобактерий проводился на основе результатов сравнительного анализа продуктивности, который включал определение скорости роста, флуоресценции и сухого веса. Для проведения эксперимента клетки исследуемых цианобактерий непрерывно выращивали в колбах в лабораторных условиях при искусственном освещении с интенсивностью света 300 мкмоль/м² и аэрацией смесью воздуха, обогащенной 2%, 4%, 8 % CO₂ в течении 8-ми суток. В качестве контроля использовали воздух, обогащенный CO₂ – 0,02%. Начальная оптическая плотность во всех вариантах составляла 0,03. Измерение оптической плотности клеток опытных штаммов проводилось каждые сутки. Активный рост с первого дня культивирования наблюдался у штамма *Cyanobacterium* sp. IPPAS B-1200 с концентрацией CO₂ в воздухе – 4%. Расчетные данные коэффициентов скорости роста для цианобактерий представлены на рисунке 1. Полученные данные свидетельствует, что влияние углекислого газа на рост данных штаммов сильно разнится. При

концентрации CO₂ в воздухе – 2%, культуры *Desertifilum* sp. IPPAS B-1220 и *Cyanobacterium aponium* IPPAS B-1201 имеют относительно высокие коэффициенты скорости роста, в то время как для штаммов *Cyanobacterium* sp. IPPAS B-1200 и *Synechococcus elongatus* 7942 такие показатели отмечены при концентрации CO₂ в воздухе – 4%. Следует отметить, что при повышенной концентрации CO₂ в воздухе – 8%, наблюдается угнетение роста всех исследуемых штаммов.

Помимо оптической плотности исследуемых культур, показатель постоянной флуоресценции (F₀) используется для определения концентрации цианобактерий в суспензии и оценки скорости их роста. Данное измерение помогает точнее определить фотосинтетическую активность культур при разной концентрации CO₂ в воздухе. Измерение F₀ проводили параллельно во всех исследованных штаммах в течение 8 дней культивирования. Полученные результаты представлены на рисунке 2.

Из полученных данных видно, что наибольшая фотосинтетическая активность наблюдалась у цианобактерий *Desertifilum* sp. IPPAS B-1220 (CO₂ в воздухе – 4%) и *Cyanobacterium* sp. B-1200 (CO₂ в воздухе – 2%) показатели F₀ составляют 7,92 и 8,91 относительных единиц. Однако для штаммов *Synechococcus elongatus* 7942 и *Cyanobacterium aponium* IPPAS B-1201, даже при повышенных концентрациях углекислого газа, показатели фотосинтетической активности понижаются уже после 6-7 суток культивирования. Для штамма *Synechococcus elongatus* 7942, самый высокий показатель фотосинтетической активности наблюдался при концентрации CO₂ в воздухе – 4%, и составил 3,82 относительных единиц. Что касается штамма *Cyanobacterium aponium* IPPAS B-1201, то наивысший показатель фотосинтетической активности, равный 5,4 о.е., наблюдался при концентрации CO₂ в воздухе – 2%.

Способность цианобактерий к фотосинтезу, возможность культивирования их на средах, содержащих только минеральные элементы в основе среды позволяют получать большие объемы биомассы в кратчайшие сроки. В конце эксперимента, на 8 день определен выход сухой биомассы исследуемых штаммов цианобактерий во всех вариантах опыта. Для этого плотную культуральную суспензию концентрировали с помощью центрифуги и сушили при +150 °C в течение 3 дней. Результаты, полученные в эксперименте, представлены на рисунке 3.

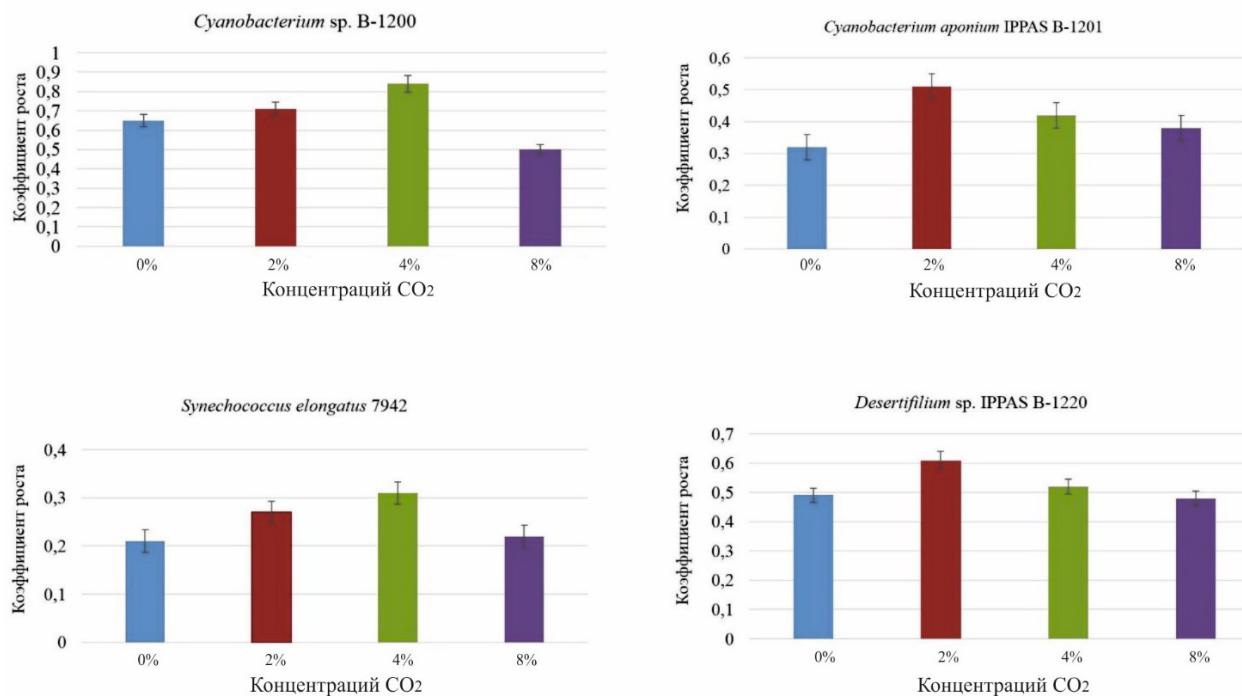


Рисунок 1 – Коэффициенты скорости роста штаммов цианобактерий при влиянии различных концентраций CO_2

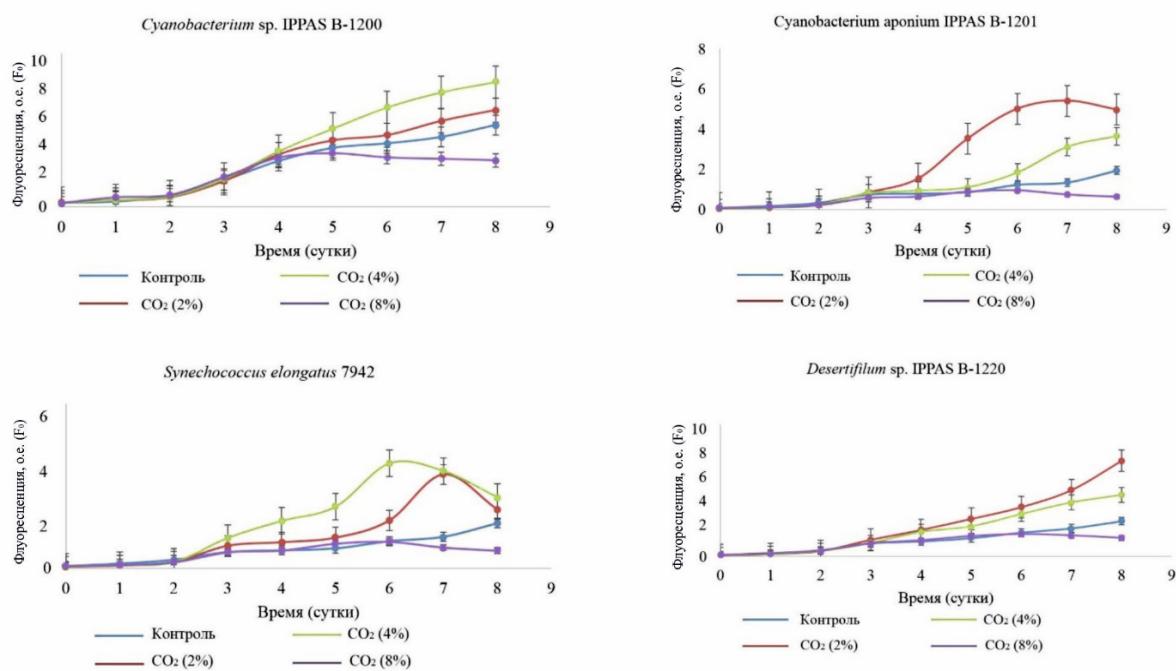


Рисунок 2 – Кривые постоянной флуоресценции (F_0) штаммов цианобактерий при влиянии различных концентраций CO_2

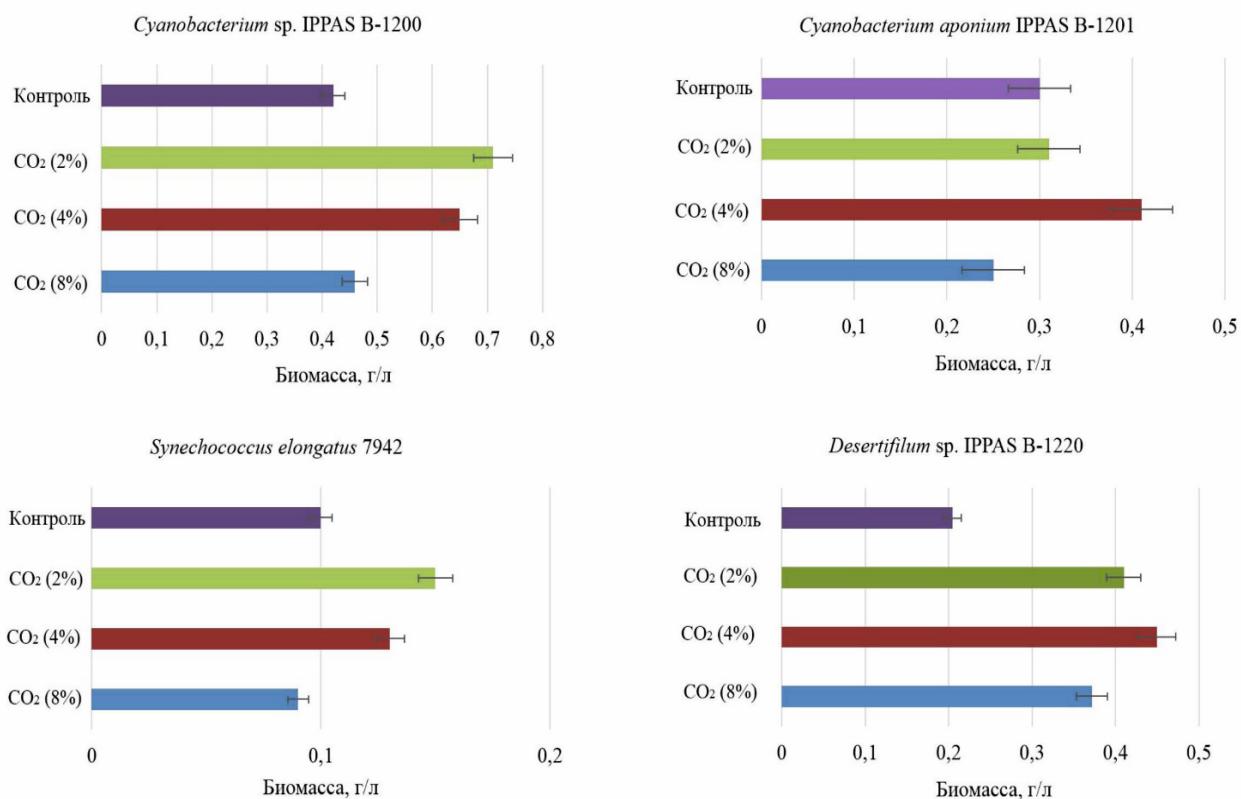


Рисунок 3 – Накопление биомассы различных штаммов цианобактерии на 8-й день культивирования

Культивирование в условиях различных концентраций углекислого газа показало влияние CO₂ на накопление биомассы. Относительно высокое накопление сухой биомассы было обнаружено у *Cyanobacterium* sp. IPPAS B-1200 (от 0,65 до 0,71 г/л) при концентрации CO₂ 2-4% соответственно. При данных концентрациях углекислого газа в воздухе наблюдается высокое накопление биомассы и у штамма *Desertifilum* sp. IPPAS B-1220 – 0,41-0,45 г/л, в то время как для штамма *Synechococcus elongatus* 7942 данные показатели составили 0,13-0,15 г/л. У штамма *Cyanobacterium aporum* IPPAS B-1201 накопление биомассы наблюдалось только при культивировании при концентрации CO₂ – 2%, которое при этом составило 0,41 г/л.

Полученные нами результаты согласуются с литературными данными. Так, аналогичные результаты получены Yunes et al. [17], которые, определяя влияние CO₂ на гетероцистную цианобактерию *Anabaena variabilis* ATCC 29413, отметили значительное увеличение интенсивности роста данной культуры, ими установлено, что увеличение CO₂ (от 0,035% до 5%) вызывало быстрое поглощение нитритов, независимо от того, были ли культуры инкубированы на свету или в

темноте, и стимулировал эволюцию фотосинтетического O₂, активность глутаминсинтетазы и активность нитрогеназы. Согласно полученным ими результатам, наличие CO₂ является важным фактором в контроле усвоения нитритов и согласуется с регулирующими взаимодействиями, включающими продукты усвоения CO₂ и азота.

Положительное влияние возрастающих концентраций (до 5%) CO₂ на показатели роста микроводоросли *Chlorella vulgaris* отмечено и в исследованиях Goncalves et al. [18], где ими изучались кинетические параметры роста данной микроводоросли, выращенной в воздушных потоках, содержащих различные концентрации CO₂. При этом ими отмечено отсутствие фазы адаптации у микроводоросли, клетки *Chlorella vulgaris* начали экспоненциально расти с начала эксперимента, что свидетельствует об их устойчивости к высоким уровням CO₂. Аналогичные данные о положительном влиянии концентраций CO₂ – 6 % на удельную скорость роста *Spirulina* sp. и *Scenedesmus obliquus* были получены Morais et al. [19].

Таким образом, на основе полученных результатов установлено, что оптимальной концентрацией CO₂ для культивирования циано-

бактерий *Cyanobacterium* sp. IPPAS B-1200, *Synechococcus elongatus* 7942 является 2%, в то время как для штаммов *Cyanobacterium aponium* IPPAS B-1201 и *Desertifilum* sp. IPPAS B-1220 оптимальное значение СО₂ для роста – 4%.

Следует отметить, что из исследуемых штаммов цианобактерии *Cyanobacterium* sp. IPPAS B-1200 и *Desertifilum* sp. IPPAS B-1220 имеют сравнительно высокие показатели скорости роста, флуоресценции и выхода биомассы, определяющие их высокую продуктивность.

Заключение

Проведена сравнительная оценка продуктивности разных штаммов цианобактерий под воздействием повышенных концентраций углекислого газа. Показано, что концентрации углекислого газа 2-4 % оказывают положительное

влияние на продуктивность исследуемых культур цианобактерий. Установлено, что повышение концентрации СО₂ до 8% ведет к снижению показателей роста цианобактерий.

Наиболее продуктивным штаммом из исследованных цианобактерий по выходу сухой биомассы отобран штамм *Cyanobacterium* sp. IPPAS B-1200, характеризующийся активным ростом при концентрации СО₂ в воздухе – 4%. Использование данного штамма с заложенными в нем возможностями биологической очистки атмосферного воздуха от углекислого газа позволяет изменить экологическую обстановку и создать надежную систему оздоровления воздушных природных ресурсов. При этом дополнительно появляется возможность получения биомассы цианобактерии, которая является потенциальным продуцентом жирных кислот и представляет большой интерес в биоэнергетике.

Литература

- 1 Zeng X., Danquah M.K., Chen X.D., Lu Y. Microalgae bioengineering: From CO₂ fixation to biofuel production // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – Vol. 15. – P. 3252–3260.
- 2 Gonçalves A.L., Rodrigues C.M., Pires J.S., Simões V. The effect of increasing CO₂ concentrations on its capture, biomass production and wastewater bioremediation by microalgae and cyanobacteria // Algal Research. – 2016. – Vol. 14. – P. 127–136.
- 3 Rodionova M.V., Poudyal R.S., Tiwari I., Voloshin R.A. Zharmukhamedov S.K., Nam H.G., Zayadan B.K., Bruce B.D., Hou H.J.M., Allakhverdiev S.I. Biofuel production: Challenges and opportunities // Int J Hydrogen Energy. – 2017. – Vol. 42. – P. 8450–8461.
- 4 Zhao B., Su Y. Process effect of microalgal-carbon dioxide fixation and biomass production: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 31. – P. 121–132.
- 5 Eloka-Eboka A.C., Inambao F.L. Effects of CO₂ sequestration on lipid and biomass productivity in microalgal biomass production // Applied Energy. – 2017. – Vol. 195. – P. 1100–1111.
- 6 Серебрякова Л.Т., Трошина О.Ю., Шереметьева М.Е. Продукция молекулярного водорода одноклеточной цианобактерией *Gloeocapsa alpicola* // От современной фундаментальной биологии к новым наукоемким технологиям. – 2001. – 98-99 с.
- 7 Razaghifard R. Algal biofuels // Photosynth Res. – 2013. – Vol. 117. – P. 207–219.
- 8 Raeessossadati M.J., Ahmadzadeh H., McHenry M.P., Moheimani N.R. CO₂ bioremediation by microalgae in photobioreactors: Impacts of biomass and CO₂ concentrations, light, and temperature // Algal Research. – 2014. – Vol. 6. – P. 78–85.
- 9 Martins J., Peixe L., Vasconcelos V.M. Unraveling cyanobacteria ecology in wastewater treatment plants // Microb Ecol. – 2011. – Vol. 62, No 2. – P. 241–256.
- 10 Razzak S.A., Ali S.A.M., Hossain M.M., deLasa H. Biological CO₂ fixation with production of microalgae in wastewater // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 76. – P. 379–390.
- 11 Tang D., Han W., Li P., Miao X., Zhong J. CO₂ biofixation and fatty acid composition of *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella pyrenoidosa* in response to different CO₂ levels, Bioresour. Technol. – 2011. – Vol. 102. – P. 3071–3076.
- 12 Olgún E.J. Dual purpose microalgae-bacteria-based systems that treat wastewater and produce biodiesel and chemical products // Biorefinery Biotechnol Adv. – 2012. – Vol. 30. – P. 1031–1046.
- 13 Семененко В.Е. Каталог культур микроводорослей в коллекциях СССР. (ред.) – М.: Изд-во РАН. – 1991. – 228 с.
- 14 Заядан Б.К., Садвакасова А.К., Акмуханова Н.Р., Болатхан К., Сарсекеева Ф.К., Бауенова М.О. Коллекция микроводорослей и цианобактерий КазНУ имени аль-Фараби и перспективы ее использования // Experimental Biology. – 2016. № 66. – С. 206–215.
- 15 Владимирова М.Г., Семененко В.Е. Интенсивная культура одноклеточных водорослей. – М.: АН СССР. – 1962. – 60 с.
- 16 Сиренко Л.А., Сакевич А.И. Методы физиологического исследования водорослей в гидробиологической практике. – Киев: Наукова думка, – 1975. – 248 с.
- 17 Yunes J.S. Effects of light and CO₂ on nitrite liberation by the heterocystous cyanobacterium *Anabaena variabilis* // J. Plant Physiol. – 1995. – Vol. 147. – P. 313–320.

- 18 Gonçalves A.L., Rodrigues C.M., Pires J.C.M., Simões M. The effect of increasing CO₂ concentrations on its capture, biomass production and wastewater bioremediation by microalgae and cyanobacteria // Algal Research. – 2016. – Vol. 14. – P. 127–136.
19 Moraes M.G.D., Costa J.A.V. Biofixation of carbon dioxide by Spirulina sp. and Scenedesmus obliquus cultivated in a three-stage serial tubular photobioreactor // J. Biotechnol. – 2007. – Vol. 129. – P. 439–445.

References

- 1 Zeng, X., Danquah, M.K., Chen, X.D., Lu, Y. "Microalgae bioengineering: From CO₂ fixation to biofuel production." Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, (2011): 3252-3260.
- 2 Gonçalves, A.L., Rodrigues, C.M., Pires, J.C.M., Simões, M. "The effect of increasing CO₂ concentrations on its capture, biomass production and wastewater bioremediation by microalgae and cyanobacteria." Algal Research 14, (2016): 127-136.
- 3 Rodionova, M.V., Poudyal, R.S., Tiwari, I., Voloshin, R.A., Zharmukhamedov, S.K., Nam, H.G., Zayadan B.K., Bruce, B.D., Hou, H.J.M., Allakhverdiev, S.I. "Biofuel production: Challenges and opportunities." Int J Hydrogen Energy 42, (2017): 8450-8461.
- 4 Zhao, B., Su, Y. "Process effect of microalgal-carbon dioxide fixation and biomass production: A review." Renewable and Sustainable Energy Reviews 31, (2014): 121-132.
- 5 Eloka-Eboka, A.C., Inambao, F.L. Effects of CO₂ sequestration on lipid and biomass productivity in microalgal biomass production." Applied Energy 195, (2017): 1100-1111.
- 6 Serebryakova, L.T., Troshina, O.Y., Sheremeteva, M.Y. "Produktsiya molekulyarnogo vodoroda odnokletochnoy tsianobakteriyey Gloeocapsa alpicola." [“Molecular hydrogen production by unicellular cyanobacterium Gloeocapsa alpicola”] Ot sovremennoy fundamental'noy biologii k novym naukoyemkim tekhnologiyam, (2001): 98–99. (In Russian).
- 7 Razaghifard, R. "Algal biofuels." Photosynth Res 117, (2013): 207-219.
- 8 Raeesossadati, M.J., Ahmadzadeh, H., McHenry, M.P., Moheimani, N.R. "CO₂ bioremediation by microalgae in photobioreactors: Impacts of biomass and CO₂ concentrations, light, and temperature." Algal Research 6, (2014): 78-85.
- 9 Martins, J., Peixe, L., Vasconcelos, V.M. "Unraveling cyanobacteria ecology in wastewater treatment plants." Microb Ecol 62, (2011): 241-256.
- 10 Razzak, S.A., Ali, S.A.M., Hossain, M.M., deLasa, H. "Biological CO₂ fixation with production of microalgae in wastewater." Renewable and Sustainable Energy Reviews 76, (2017): 379-390.
- 11 Tang, D., Han, W., Li P., Miao, X., Zhong, J. "CO₂ biofixation and fatty acid composition of Scenedesmus obliquus and Chlorella pyrenoidosa in response to different CO₂ levels." Bioresour. Technol 102, (2011): 3071-3076.
- 12 Olgún, E.J. "Dual purpose microalgae-bacteria-based systems that treat wastewater and produce biodiesel and chemical products." Biorefinery Biotechnol Adv 30, (2012): 1031-1046.
- 13 Semenenko, V.Y. Katalog kul'tur mikrovodorosley v kollektivakh SSSR. [Catalog of microalgae cultures in the collections of the USSR.] Izd-vo RAN, 1971. (In Russian).
- 14 Zayadan, B.K., Sadvakasova, A.K., Akmukhanova, N.R., Bolatkhan, K., Sarsekeyeva, F.K., Baujenova, M.O. "Kollektsiya mikrovodorosley i tsianobakteriy KazNU imeni al'-Farabi i perspektivy yeye ispol'zovaniya." [“The collection of microalgae and cyanobacteria of KazNU named after al-Farabi and the prospects for its use”] Experimental Biology 66, (2016): 206-215. (In Russian).
- 15 Vladimirova, M.G., Cemenenko, V.E. Intencivnaya kul'tupa odnokletochnykh vodopocley. [Intensive culture of unicellular algae.] M.: AN CCCP, 1962. (In Russian).
- 16 Sirenko, L.A., Sakevich, A.I. Metody fiziologo-biokhimicheskogo issledovaniya vodorosley v gidrobiologicheskoy praktike. [Methods of physiological and biochemical study of aquatic areas in hydrobiological practice.] Kiyev: Naukova dumka, 1975. (In Russian).
- 17 Yunes, J.S. "Effects of light and CO₂ on nitrite liberation by the heterocystous cyanobacterium Anabaena variabilis." J. Plant Physiol 147, (1995): 313–320.
- 18 Gonçalves, A.L., Rodrigues, C.M., Pires, J.S., Simões, V. "The effect of increasing CO₂ concentrations on its capture, biomass production and wastewater bioremediation by microalgae and cyanobacteria." Algal Research 1, (2016): 127-136.
- 19 Moraes, M.G.D., Costa, J.A.V. "Biofixation of carbon dioxide by Spirulina sp. and Scenedesmus obliquus cultivated in a three-stage serial tubular photobioreactor." J. Biotechnol 129, (2007): 439-445.

3-бөлім

БИОЛОГИЯЛЫҚ

АЛУАНТУРЛІЛІКТІ САҚТАУДЫҢ

ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРИ

Section 3

ACTUAL PROBLEMS

OF BIODIVERSITY CONSERVATION

Раздел 3

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

СОХРАНЕНИЯ

БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ

¹**Б.М. Султанова** , ²**К.О. Баядилов** , ²**Р.Х. Хабибрахманов** ,

¹**А.А. Курмантаева** , ²**Д.Б. Мирзалиева** 

¹ҚР БФМ «Ботаника және фитоинтродукция институты», Қазақстан, Алматы қ.,
e-mail: dinara-myralieva@mail.ru

²«Алтын-Емел» Мемлекеттік ұлттық табиғи паркі, Қазақстан, Алматы қ.

«АЛТЫН-ЕМЕЛ» МЕМЛЕКЕТТІК ҰЛТТЫҚ ТАБИҒИ ПАРКІНІҢ БОТАНИКАЛЫҚ АЛУАНТУРЛІЛІГІНЕ БАҚЫЛАУ ЖҮРГІЗУ

Андратпа. Мақалада «Алтын-Емел» мемлекеттік ұлттық табиғи паркіндегі өсімдік жамылғыларын зерттеу кезеңдеріне, бақылау аймағына және сирек кездесетін өсімдіктерге қысқаша шолу жасалды. Сондай-ақ, қоршаған ортанды бақылау, ботаникалық алудантурлілік, флоралық алудантурлілік, фитоценотикалық алудантурлілік үғымдарына түсінік берілді. Жұмыстың мақсаты – «Алтын-Емел» МҰТП өсімдік жамылғыларының қазіргі жағдайын бағалау. Зерттеу әдісі – геоботаникалық, картографиялық. Өсімдік жамылғылары далаңынан геоботаникалық зерттеулердің дәстүрлі әдістерімен зерттелді. Өсімдік жамылғыларын далаңынан картага түсіру нақты бағытты және топографиялық, база мен ғарыштық, түсірімдерді пайдалану арқылы ландшафтты-экологиялық профильдеу әдісімен жүргізілді. GPS құрылғысымен бекітілген нұктелерде негізгі, басым аумақтағы өсімдік қауымдастықтарда геоботаникалық, сипаттамалар толық жүргізілді. Зерттеу жұмысының теориялық және практикалық маңызы: ғылыми маңызы – аймақтың өсімдік жамылғыларының биологиялық әртүрлілігі мен қазіргі жағдайын бағалау. Өсімдік жамылғыларының ағымдағы жай-куйін бағалау оның бұзылу дәрежесін анықтауға және ботаникалық әртүрліліктің негізгі қауіп-көтерлерін анықтауға мүмкіндік береді. Өсімдіктердің құрамы мен көністіктік құрылымының негізгі бөлімдерінің картасындағы көрініс өсімдіктердің өзгеруінің қазіргі жай-куйін және дәрежесін көрсетудің ең ақпараттылық тәсілі болып табылады. «Алтын Емел» МҰТП аумақында өсімдіктердің жабайы туыстарының аудандары мен сирек кездесетін өсімдіктер қауымдастырының анықтау маңызды болып табылады. Зерттеу нәтижелері өсімдіктер мен биоалудантурліліктің қорғау бойынша практикалық шараларды әзірлеу үшін негіз болды.

Түйін сөздер: Мемлекеттік ұлттық табиғи парк, бақылау, жергілікті, аймақтық, ғаламдық.

¹B.M. Sultanova, ²K.O. Bayadilov, ²R.Kh. Habibrahmanov,

¹A.A. Kurmantaeva, ²D.B. Mirzalieva

¹Institute of Botany and Phytointroduction of MES RK, Kazakhstan, Almaty, e-mail: dinara-myralieva@mail.ru

²State National Natural Park "Altyn-Emel", Kazakhstan, Almaty

Monitoring of botanical diversity of the state national natural park "Altyn-Emel"

Abstract. The article provides a brief overview of vegetation stratigraphy, control zones and rare plants in the Altyn-Emel State National Nature Park. The concept of environmental control, plant diversity, plant diversity, phytocenotic diversity was also interpreted. Objective: Assessment of the current state of vegetation of the State National Natural Park "Altyn-Emel". Research methods: Common geobotanical, cartographic. The vegetation cover was studied using traditional methods of field geobotanical research. Field mapping of vegetation was carried out by a combination of the detailed route method and the method of landscape-ecological profiling using topographic base and satellite images. At the points fixed on the ground by the GPS device, a detailed geobotanical description of the main, predominant in area, plant communities were carried out. Scientific importance is the assessment of the current state of the plant cover of the region with unique biodiversity. An assessment of the current state of vegetation cover will make it possible to determine the degree of its disturbance and to identify the main threats to botanical diversity. The reflection on the maps of key sections of the spatial structure and composition of vegetation is the most informative way of demonstrating the current state and extent of transformation of vegetation. Identifying the habitats of wild relatives of cultivated plants and rare plant communities will be important for the territory of the state national natural park "Altyn-Emel". The research results served as the basis for the development of practical measures for the protection of vegetation and biodiversity conservation.

Key words: State National Natural Park, monitoring, local, regional, global.

¹Б.М. Султанова, ²К.О. Баядилов, ²Р.Х. Хабибрахманов,

¹А.А. Курмантаева, ^{Д.Б.} ¹Мирзалиева-

¹Институт ботаники и фитоинтродукции МОН РК, Казахстан, г. Алматы, e-mail: dinara-myralieva@mail.ru

²Государственный национальный природный парк «Алтын-Эмель», Казахстан, г. Алматы

Мониторинг ботанического разнообразия ГНПП «Алтын-Эмель»

Аннотация. В статье дается краткий обзор стратиграфии растительности, зон контроля и редких растений в Алтын-Эмельском государственном национальном природном парке. Также была интерпретирована концепция экологического контроля, растительного разнообразия, растительного разнообразия, фитоценотического разнообразия. Цель работы – оценка современного состояния растительности Государственного национального природного парка «Алтын-Эмель». Методы исследования: общепринятые геоботанические, картографические. Растительный покров изучали с использованием традиционных методов полевых геоботанических исследований. Полевое картирование растительности проводилось сочетанием детально-маршрутного метода и метода ландшафтно-экологического профилирования с использованием топографической основы и космических снимков. В точках, фиксированных на местности прибором GPS, было сделано детальное геоботаническое описание основных, преобладающих по площади, растительных сообществ. Научная значимость заключается в оценке современного состояния растительного покрова региона с уникальным биоразнообразием. Проведение оценки современного состояния растительного покрова позволит определить степень ее нарушенности и выявить основные угрозы ботаническому разнообразию. Отражение на картах ключевых участков пространственной структуры и состава растительного покрова является наиболее информативным способом демонстрации современного состояния и масштабов трансформации растительного покрова. Важным для территории ГНПП «Алтын-Эмель» станет выявление ареалов ДСКР и редких растительных сообществ. Результаты исследований послужили основой разработки практических мероприятий по охране растительности и сохранению биоразнообразия.

Ключевые слова: Государственный национальный природный парк, мониторинг, локальный, региональный, глобальный.

Қысқартулады

МҰТП – Мемлекеттік ұлттық табиғи парк; БҮҮ – Біріккен ұлттар ұйымы; ЕҚТА – ерекше қоргалатын табиғи аумақтар; ҚР АшМ – ҚР Ауылишаруашылық министрлігі.

Кіріспе

«Алтын-Емел» Мемлекеттік ұлттық табиғи паркі (МҰТП) 1996 жылы құрылды және аумағы 536,5 мың гектар жерді құрайды. Парк Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы Іле тауаралық қазаншұңқырларында орналасқан. Солтүстігі Жонғар Алатауының таусілемдерімен, оңтүстігі Іле өзенінің аңғарларымен шектеседі [1]. Жұмыстың мақсаты: «Алтын-Емел» Мемлекеттік ұлттық табиғи паркіндегі өсімдік жамылғыларының қазіргі жағдайын бағалау. Ерекше қорғауға алынған аймақта ботаникалық зерттеу жүргізуінде негізгі мақсаты тірі ағзалар мен қоршаған орта арасындағы сандық сипаты туралы ақпараттарды жинақтау, жүйелу, талдау болып табылады. Нәтиже алу үшін:

– зерттелетін өсімдік жамылғыларының сапасын бағалау;

– өсімдік жамылғыларында байқалатын және ықтимал құрылымдық-функционалдық өзгерістердің себептерін анықтау және сыртқы кері әсер ету көздері мен факторларына адрестік индикация жасау;

– қоршаған ортандың өзгерістеріне өсімдік жамылғыларының тұрақтылығын болжамдау.

«Алтын Емел» МҰТП өсімдік жамылғысы ерекше табиғи жағдайларға байланысты жоғары ботаникалық (флоралық және фитоценотикалық) алуан түрлілігімен ерекшеленеді. 1996 жылы Ұлттық саябақты құру таулы-тасты бассейннің өсімдіктерін қорғауға мүмкіндік берді, бірақ ұлттық парктің жұмыс істеуі өсімдіктердің құрамы мен құрылымына өзгерістер енгізді [2, 3]. Жерсіндірілген құландар мен қарақұйрықтардың санының артуы, туризмнің дамуы, климаттық жағдайлардың өзгеруі, Іле өзенінің ағынының өзгеруі және оның Қытай Халық Республикасынан келетін ағымының төмендеуі, қорық аумағының кецеюі – мұның барлығы өсімдік жамылғысының қазіргі жағдайын есепке алуды және бағалауды талап етеді. Бақылау аумақтары ұлттық парктің өсімдік жамылғысының қазіргі жағдайы туралы толық мәлімет бермейді.

Қазіргі уақытта ерекше қорғалатын табиғи аумактарда эндемді, реликтік, жойылып кету қаупі төніп тұрған өсімдік түрлерінің және олармен қалыптасқан өсімдік қауымдастықтарының болуы және қорғалуы ғана емес, сондай-ақ табиғи жағдайдағы аумақтағы өсірілген өсімдіктердің мәдени емес туыстары – генетикалық бірегей өсімдіктердің өсуі маңызды. «Алтын Емел» МҰТП өсімдік жамылғыларының ішінде өсімдіктердің жабайы туыстарының санының айтарлықтай көп болуы осы аумақтағы табиғаттың генетикалық әлеуетінің жаһандық маңыздылығын көрсетеді [4-10].

Зерттеу материалдары мен әдістері

«Мониторинг» термині 1972 жылы қоршаған орта бойынша БҮҮ Стокгольм конференциясынан кейін пайда болды. Мониторинг кезінде қоршаған ортаның жай-күйін бақылау, өлшеу және бағалау жүйесін түсіну туралы шешім қабылданды [11-12].

Біздің зерттеу нысанымыз «Алтын Емел» Мемлекеттік ұлттық табиғи паркіндегі өсімдік жамылғылары. Далалық зерттеу жұмысымызда жалпы қабылданған геоботаникалық және картографиялық әдістері қолданылды. Өсімдік жамылғылары далалық геоботаникалық зерттеулердің дәстүрлі әдістерін қолдану арқылы жүргізілді. Олар:

- негізгі өсімдік қауымдастықтарына геоботаникалық сипаттама беру;
- ландшафты-экологиялық профильдер салу;
- негізгі аймақтардағы өсімдік жамылғыларын картага түсіру.

Өсімдік жамылғыларын далалық жағдайда картага түсіру нақты бағытты және топографиялық база мен ғарыштық түсірімдерді пайдалану арқылы ландшафтты-экологиялық профильдеу әдісімен жүргізілді.

GPS құрылғысымен белгіленген нүктelerde негізгі аумақтағы өсімдік қауымдастықтарына геоботаникалық сипаттамалар толық жүргізілді. Өсімдіктердің номенклатурасын С.К. Черепанов (1995: 516) бойынша нақтылады [13].

34 бақылау нүктелеріндегі өсімдік жамылғыларына жүргізілген бақылау 3 деңгейде міндеттерді орындайтын биоалуантурлілік мониторингінің ақпараттық жүйесін құру үшін нақтылы мәліметтер алуға мүмкіндік берді:

Жергіліктері:

- ерекше қорғалатын табиғи аумактарды пайдалану тиімділігі, өсімдік жамылғыларының жағдайын бағалау;

– қауіпті жағдайлар мен оқыс оқиғалардың алдын алу бойынша шаралар қабылдау;

– барлық мұдделі құрылымдар арасында бақылау нәтижелері туралы ақпарат тарату.

Аймақтық:

– Қазақстандағы биоалуантурлілік пен қоршаған ортаны сақтау бойынша ұлттық бағдарламаларды орындау.

Ғаламдық:

– Биологиялық әртүрлілік туралы конвенцияның, Бонн және Рамсар конвенцияларының ережелерінен туындастын халықаралық міндеттемелерді орындау.

«Алтын-Емел» Мемлекеттік ұлттық табиғи паркінде жыл сайынғы бақылау жұмыстары мынадай кезеңдерден тұрады:

далалық бақылау және зерттеу;

алынған мәліметтерді өндеу және талдау;

бастапқы жағдаймен салыстыра отырып, қазіргі жағдайды бағалау;

өзгерістер мен олардың тенденцияларын анықтау;

бақылау объектілерінің жағдайына болжам жасау.

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Коршаған ортаның мониторингі – табиғи ортадағы флора мен фаунадағы өзгерістерді болжау, бағалау, олардың жағдайын анықтау ерекше қорғалатын табиғи аумактардағы биоалуантурлілікті сақтаудың негізгі міндеті болып табылады.

2013 жылы ҚР Ауылшаруашылық Министрлігінің орман шаруашылығы және жануарлар дүниесі комитетінің «Табиғат жылнамасы» бағдарламасы аясында «Алтын-Емел» МҰТП 25 бақылау нүктесіндегі ботаникалық алуантурлілікке мониторинг жүргізілді.

2015 жылы олар Қазақстан Республикасы Үкіметінің / Ғаламдық экологиялық қорының / БҮҮДБ «Шөл экокүйелеріндегі ерекше қорғалатын табиғи аумактарды басқару жүйесін кеңейту және нығайту, қорғалатын табиғи аумактардың айналасындағы биоалуантурлілікі түрақты пайдалану үшін альтернативті түрлерді дамыту» жобасы бойынша «Ерекше қорғалатын табиғи аумактардағы биоалуантурлілікті бақылау бағдарламасы» аясында құрылған 7 мониторинг аумағын қости. Тағы 2 бақылау аумағы 2018 жылы қосылды [14].

«Алтын-Емел» МҰТП аймағындағы өсімдік жамылғыларының ботаникалық алуантурлілігі мыналарға байланысты:

– ҚР аумағындағы «Жонғар шөлдерінің анклавы» болып табылатын Іле тауаралық қазаншұңқырларында орналасуы;

– ландшафттардың алуантүрлілігі (таулар мен жазықтар, құмдар мен Іле өзенінің аңғары);

– экологиялық жағдайдың алуантүрлілігі (геологиялық, геоморфологиялық, топырақтық, және т.б.);

– жер бедерінің ерекше үйлесімі: Жонғар Алатауының солтүстік сілемдерінің биіктігі теңіз деңгейінен 500 м дейін жетеді;

– қазаншұңқырдың жоғарғы және төменгі бөлігінің климатындағы айтарлықтай айырмашылықтар бар: температураның күрт көтерілуі және жауын-шашынның аумақтың жоғарғы бөліктерінен төмен гипсометриялық деңгейге дейін төмендеуі [15].

Ботаникалық алуантүрлілік флоралық және фитоценоздық алуантүрлілікті қамтиды.

М.П. Данилов және т.б. (2016) мәліметі бойынша «Алтын-Емел» МҰТП аймағындағы өсімдік жамылғыларының флоралық алуантүрлілігі 88 тұқымдас пен 403 туыстан тұратын түтікті өсімдіктердің 864 түрі тіркелген. Олардың ішінде 30 түрі Казақстанның Қызыл кітабында тіркелген, олардың арасында: кәдімгі өрік (*Armeniaca vulgaris* Lam.), Іле беріқарақаты (*Berberis iliensis* Popov), Виталий шөмішгүлі (*Aquilegia vitalii* Gamjun.), Іле үшқаты (*Lonicera iliensis* Pojark.), кавказ таудаганы (*Celtis caucasica* Willd.), Михельсон

кермегі (*Limonium michelsonii* Lincz.), Фальконер бауыршебі (*Hepatica falconeri* Steward.), ақшыл сепкілгүл (*Fritillaria pallidiflora* Schrenk), Іле сексеуілшесі (*Arthrophytum iliense* Iljin.), тораңғыл (*Populus pruinosa* Schrenk.), Іле сасыры (*Ferula iliensis* Krasn. ex Korovin), Сиверс алмасы (*Malus sieversii* (Lebed.) Roem.) және т.б. [16-17].

А.А. Иващенконың пікірінше (2016) тағы 12 түр тұракты бақылауды қажет етеді, олардың арасында: шоқша желшек (*Tragus racemosus* (L.) All.), ұлкен шырыш (*Eremurus robustus* Regel.), Қаратая жуасы (*Allium karatavicense* Regel.), түкті-түйіршікті жуа (*Allium trachyscordum* Vved.), сары шашақгүл (*Reseda lutea* L.) және т.б. [18-19].

Осындай жамылғыларының қазіргі кездегі жағдайын бақылау ботаникалық алуантүрлілікті қорғау саласындағы зерттеулердің қажетті құрамдас бөлігі ретінде қарастырылады.

Флоралық алуантүрлілікке бақылау жүргізу – бақылау аймағындағы нақты жеке түрлерді бақылауды (түбегейлі бақылау) және жобалы аймактағы флоралық алуантүрлілікті бақылауды (фондық бақылау) қамтиды.

«Алтын-Емел» МҰТП өсімдік жамылғыларына фондық бақылаудан алынған негізгі 30 түрі қарастырылды (1-кесте).

«Алтын-Емел» МҰТП түбегейлі бақылау жүргізу үшін өсімдіктердің 37 түрі ұсынылды (2-кесте).

1-кесте – «Алтын-Емел» МҰТП өсімдіктердің негізгі түрлері

Өсімдіктердің атауы	
Латынша	Қазақша
1. <i>Aquilegia vitalii</i>	Виталий шөмішгүлі
2. <i>Armeniaca vulgaris</i>	Кәдімгі өрік
3. <i>Arthrophytum iliense</i>	Іле сексеуілшесі
4. <i>Asterothamnus fruticosus</i> (C.Winkl.) Novopokr.	Бұталы ақбасбалаяу
5. <i>Astragalus dshimensis</i> Gontsch.	Жым таспасы
6. <i>Berberis iliensis</i>	Іле беріқарақаты
7. <i>Celtis caucasica</i> Willd.	Кавказ таудаганы
8. <i>Chesneya dshungarica</i> Golosk.	Жонғар аспарасы
9. <i>Ferula iliensis</i> Krasn. ex Korov	Іле сасыры
10. <i>Fritillaria pallidiflora</i> Schrenk.	Ақшыл сепкілгүл
11. <i>Gymnospermium altaicum</i> (Pall.) Spach	Алтай гимноспермиумы
12. <i>Haplophyllum dshungaricum</i> N. Rubtz.	Жонғар тұтасжапырағы
13. <i>Hepatica falconeri</i> (Thoms.) Steward	Фальконер бауыршебі

1-кестенің жалгасы

Осындайтердің атауы	
Латынша	Қазақша
14. <i>Lepechinella michaelis</i> (Golosk.) Nabiev	Михаил басаяғы
15. <i>Limonium michelsonii</i> Lincz.	Михельсон кермегі
16. <i>Lonicera iliensis</i> Pojark.	Іле бөріжидегі
17. <i>Malus sieversii</i> (Ledeb.) M. Roem.	Сиверс алмасы
18. <i>Paeonia hybrida</i> Pall.	Сәлдегүл таушымылдығы
19. <i>Pilopleura goloskokovii</i> (Korov.) Saphina	Голосковов көкшолагы
20. <i>Plagynobasis centauroides</i> Schrenk.	Кекіре себетбасы
21. <i>Populus pruinosa</i>	Ақ тораңғыл
22. <i>Prangos herderi</i> Regel	Гердер сайсабагы
23. <i>Rheum wittrockii</i> Lundstr.	Виттрок рауғашы
24. <i>Rhodiola rosea</i> L.	Алтынтамыр
25. <i>Silene muslimii</i> Pavl.	Мұслім сыйлдыршөбі
26. <i>Stroganowia sagittata</i> Kar. & Kir.	Жебе жапырақты ергеш
27. <i>Tulipa ivasczenkoae</i> Epikt. et Belyalov.	Иващенко қызғалдағы
28. <i>Tulipa Alberti</i> Regel	Альберт қызғалдағы
29. <i>Tulipa kolpakowskiana</i> Regel	Колпаковский қызғалдағы
30. <i>Tulipa Brachystemon</i> Regel	Қысқааталық қызғалдақ

2-кесте – «Алтын-Емел» МҮТП осындайтердің индикаторлық түрлері

Осындайтердің атауы	
Латынша	Қазақша
1. <i>Allium oreoprasoides</i> Vved.	Биік жуа
2. <i>anabasis salsa</i> (C.F. Mey.) Benth. ex Volkens	Сортан бұйырғын
3. <i>artemisia heptapotamica</i> Poljak.	Жетісүй жусаны
4. <i>artemisia rutifolia</i> Steph. ex Spreng.	Рутажапырақ жусан
5. <i>artemisia santolinifolia</i> Turcz. ex Bess.	Сантолин жусан
6. <i>artemisia terrae-albae</i> Krasch.	Тамыр жусан
7. <i>Arthropodium iliense</i>	Іле сексеуілшесі
8. <i>Arthropodium balchaschense</i> (Iljin) Botsch.	Балқаш сексеуілшесі
9. <i>Berberis iliensis</i>	Іле бөріқаракаты
10. <i>berberis sphaerocarpa</i> Kar. & Kir.	Дөңгелек жемісті бөріқаракат
11. <i>Betula tianschanica</i> Rupr.	Тянь-шань қайыңы
12. <i>Caragana balchaschensis</i> (Kom.) Pojark.	Балқаш қарағаны
13. <i>cerasus tianschanica</i> Pojark.	Тянь-шань шиесі
14. <i>clematis orientalis</i> (J. Gay) Schroding.	Шығыс жібілгені
15. <i>convolvulus tragacanthoides</i> Turcz.	Трагакантты шырмауық
16. <i>camphorosma monspeliensis</i> L.	Марсель караматауы
17. <i>Elaeagnus oxycarpa</i> Schlecht.	Үшкір жемісжидесі
18. <i>ephedra intermedia</i> Schrenk & C.A. Mey.	Қызыл тамыр қылша
19. <i>ephedrae quisetina</i> Bunge	Қырықбуын қылша

Өсімдіктердің атапу	
Латынша	Қазақша
20. <i>ephedra przewalskii</i> B. Fedtsch. & Bobr.	Пржевальск қылшасы
21. <i>festuca valesiaca</i> Gaudin Nym.	Көкшұнақ бетеге
22. <i>halimodendron halodendron</i> (Pall.) Voss	Ақ шенгел
23. <i>Haloxylon aphyllum</i> (Minkw.) Iljin	Қара сексеул
24. <i>haloxylon persicum</i> Bunge ex Boiss. & Buhse	Саксаул белый
25. <i>helianthemum songaricum</i> Schrenk	Жонғар сәулегүлі
26. <i>Juniperus sabina</i> L.	Казак аршасы
27. <i>krascheninnikovia ceratoides</i> (J.F. Gmel.) Reveal & Holmgren	Мүйіз теріскені
28. <i>Nanophyton erinaceum</i> (Pall.) Bunge	Тасбұйыргын
29. <i>phragmites australis</i> Cav.	Кәдімгі қамыс
30. <i>Populus diversifolia</i> (Schrenk) Kimura	Қара тораңғы
31. <i>Salix songorica</i> Anderss.	Жонғар ивасы
32. <i>salsola orientalis</i> S.G. Gmel.	Шығыс сораны
33. <i>Salsola arbusculiformis</i> Drob.	Қара баялыш
34. <i>Spiraea hypericifolia</i> L.	Шайқурай тобылғысы
35. <i>stipa kirghisorum</i> P.Smirn.	Қыргыз бетегесі
36. <i>stipa caucasica</i> Schmalh.	Кавказ бетегесі
37. <i>stipa orientalia</i> Trin.	Шығыс бетегесі

«Алтын-Емел» МҮТП өсімдік жамылғыларының фитоценоздық алуантүрлілігі оның қалыптасу жағдайларының экологиялық әртүрлілігіне байланысты.

Ботаникалық-географиялық бөлінісі бойынша аталған аумақтың өсімдіктері Сахара-Гоби облысы, Иран-Туран субрегионы, Жонғар провинциясына жатады.

Жонғар Алатауының онтүстік сілемдерінде өсімдік жамылғыларының тарапуының биектік белдеулерінің құрылымына мыналар жатады: тау бөктері шөлдерінің белдеуі (600-800 м); далалық белдеуі (800-1500 м) және шалғынды далалық белдеу (1500-1700 м); орманды шалғынды белдеу (1700-2400 м); субальпілік шалғынды дала-лы белдеу (2200-2800 м); криофитті (альпілік) шалғынды далалық белдеу (2800-3500 м) [20-21].

Жазықтағы зоналық спектр шөлді даланың ашық каштан топыраққа (1400-1500 м), дала шөлдерінің қоңыр топыраққа (1200-1400), шөлдердің сүр-қоңыр топыраққа (700-1200) ауысымен сипатталады және ең төменгі бөлігін (600-700 м) өте құрғақ шөлдердің бөлігі алады.

Тау бөктері шөлдерінің белдеуінде әфемероидтармен (*Poa bulbosa* L., *Anisantha tectorum* (L.)

Lindm.) бірге бетегелі-изенді-жусанды (*Artemisia heptapotamica*, *A. sublessingiana*, *Kochia prostrata* (L.) A.J. Scott, *Stipa sareptana* A.Beck., *S. Richteriana* Kar. & Kir) қауымдастықтар басым келеді.

Шөлейттенген далада *Stipa capillata* L., *S. sareptana*, *S. Lessingiana* Trin. & Rupr., *S. caucasica*, *Festuca valesiaca* басым болуымен әфемероидты-жусанды-астық тұқымдасты өсімдіктер қауымдастығы қалыптасады. *Artemisia sublessingiana* жусаны басым келеді. *Spiraea*, *Atrapaxis*, *Rosa* туысының бұталары көбіне тік беткейлерде кездеседі.

Шалғынды дала белдеуі әртүрлі шөпті, шымды-астық тұқымдасты өсімдіктерді (*Festuca valesiaca*, *Bothriochloa ischaetum* (L.) Nash., *Stipa capillata*, *Elytrigia repens* (L.) Gould, *Phleum pratense* L., *Melilotus officinalis* (L.) Pall, *Amoria hybrida* L., *Achillea millefolium* L., *Cichorium intybus* L., *Salvia deserta* Schang., *Potentilla impolita* Wahlenb.) қамтиды.

Орманды шалғынды белдеуде қылқан жапыракты ормандардағы басым өсімдік – Шренк шыршасы (*Picea schrenkiana* Fisch. & C.A. Mey.) болып табылады. Бұталар қабатын (1-1,5 м) ырғай, Семенов қабыржығы, итмұрын,

Альтман бөріжидегі (*Lonicera altmannii* Regel & Schmalh.) қалыптастырады. 40%-ын мүкті жамылғы (*Thuidium abietinum* (Hedw.) Schimp., *Rhytidadelphus triquetrus* Warnstorff) алады. Шөпті жамылғы сирек: бетеге өсімдігі (*Festuca valesiaca*) басым болып келеді. Басқа түрлер (*Lathyrus gmelinii* Fritsch., *Geranium collinum* Steph., *Thalictrum minus* L., *Gentiana turkestanitum* (Gand.) Holub, *Solidago virgaurea* L.) жеке-дара кездеседі.

Субальпілік шалғындар мен дала белдеулерінде боз арша (*Juniperus pseudosabina* Fisch. & C.A. Mey.), бетегелі далаларда (*Festuca valesiaca*, *Heleotrichon tianschanicum* Roshev., *H. altaicum* Tzvel., *Poa stepposa* (Kryl.) Tzvel.), астық тұқымдасты – әртүрлі шөпті шалғында (*Alchemilla sibirica* Zam., *Geranium collinum* Steph., *G. Albiflorum* Ledeb., *Potentilla gelida* C.A. Mey., *Alopecurus pratensis* L., *Poa pratensis* (Roshev.) Worosch.) кездеседі және жартастар мен тау жыныстарында жартас өсімдіктері сирек.

Криофитті (альпілік) шалғындар мен дала белдеуінде жінішке донызоты (*Kobresia capilliformis* Ivanova), криофитті аласа шөпті шалғындарда (*Bistorta vivipara* (L.) S.F. Gray, *Primula algida* (Adams) Sojak, *Festuca kryloviana* Reverd.), таулы далаларда (*Festuca valesiaca*, *Poa stepposa*, *Helictotrichon tianschanicum*), тасты топырактарда (*Dracocephalum imberbe* Bunge, *Saussurea glacialis* Herd, *Rhodiola coccinea* (Royle) Boriss., *Potentilla biflora* Willd. ex Schlecht.) өсімдіктері мен криофитті (*Thylacospermum caespitosum* (Cambess) Ju. Kozhev., *Oxytropis chinobia* Bunge, *Cerastium lithospermifolium* Fisch. және т.б.) өсімдіктер кездеседі [25].

Қатутау тауының өсімдік жамылғылары фитоценоздардың комбинациясымен ерекшеленеді, олар Қазақстанда сирек кездесетін траншекаралық қауымдастықтар: лавалық ұсақ тастарда қара сексеуілдер (*Haloxylon aphyllum*); ұсақ топыракты жарықшактарда (*Cerasus tianschanica*, *Salsola laricifolia* Turcz. & Litv., *Ephedra przewalskii*, *Reomuria soongarica* Pall. өсімдіктерінің бұталары; эрозияға ұшыраған жерлерде *Stipa orientalis*, *Arthrophtytum balchaschensis* өсімдіктерімен қатар, масбұйырғын (*Nanophyton erinaceum*) кездеседі; уақытша су ағындарының бойында қарапайым (*Iljinia regelii* (Bunge) Korov.) қауымдастықтары таралған.

Жазықта шөлдер ұзындығы мен амплитудасы бойынша ең ұлкен аумақты алады (700-1200 м).

Көпжылдық сораңды шөлдерде экологиялық-физиономиялық тип басым болып келеді.

Тасбұйырғынды шөлдер (*Nanophyton erinaceum*) және олардың тип тармақтары: нағыз масбұйырғындар, бетегелі-масбұйырғынды (*Nanophyton erinaceum*, *Stipa caucasica*, *S. orientalis*), сексеуілшелі-масбұйырғынды (*Nanophyton erinaceum*, *Arthrophtytum iliense*), бұйырғынды-масбұйырғынды (*Nanophyton erinaceum*, *Anabasis salsa*), жусанды-баялышты қауымдастықтар (*Salsola arbusculiformis*, *Artemisia sublessingiana*).

Жусанды шөлдердің арасынан ең кең таралғаны – Жетису жусанының (*Artemisia heptapotamica*, *Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Agropyron cristatum* (L.) Beauv., *Kochia prostrata*) қауымдастығы болды.

Сублессингианды-жусанды (*Artemisia sublessingiana*) қауымдастығы ұсақ шоқылы тау бөктерінде кездеседі.

Эолдық жазықта санталды жусандар (*Artemisia santolina*): сексеуілді санталды жусандар (*Artemisia santolina*, *Haloxylon aphyllum*), шөпжыңғылды санталды жусандар (*Artemisia santolina*, *Reomuria songarica*) таралған. Тамыр жусан (*Artemisia terrae-albae*) сирек кездеседі. Жерасты сулары күмға жақын аралас сексеуілді қауымдастықтар үшін (*Haloxylon aphyllum*, *H. persicum*) шалғынды және тогайлы өсімдік түрлерінің (*Halimodendron halodendron*, *Phragmites australis*) қатысуымен сипатталады. Құмды қараганды сексеуілді (*Haloxylon persicum*, *Ammodendron bifolium* (Pall.) Yakovl.) және псаммофитті бұталы (*Calligonum junceum*) шөлдер күм жоталарының шындарымен белгіленеді.

Іле таулы ойпатының төмен гипсометриялық деңгейінде өте құрғақ қырышық шөлдер кең таралған. Өсімдік жамылғылары *Arthrophtytum iliense*, *A.longibracteatum* Korov., *A.balchaschense*, *Ephedra przewalskii* сирек кездесетін топтардан тұрады.

Сортанды жердің өсімдіктері Іле өзенінің алқабындағы терассаларда суландырумен байланысты тұздануы қайталараптын орындарда шоғырланған.

Ұсынылған өсімдіктер: карабаракты (*Halostachys caspica* (Pall.) Bieb.), сарсазанды (*Halocnemum strobilaceum* (Pall.) Bieb.), ақсоралы (*Suaeda physophora* Pall.) қауымдастықтар.

Жоңғар Алатауының онгустік өзендерінің аңғарларында биiktігі (1000-1225 м) ағаш қабаттары лавр теректерінен (*Populus laurifolia* Ledeb.), Тянь-Шань қайыңынан (*Betula tianschanica*), қарагаштан (*Ulmus pumila* L.) тұрады.

Бұталы қауымдастықтар тау етегіндегі жазықтың уақытша су ағынының арналарында кең тараған (*Tamarix ramosissima* Ledeb., *Atraphaxis replicata* Lam., *Hulthemia persica* (Michx. ex Juss.), *Convolvulus tragacanthoides* Turcz., *Caragana balchaschensis*). Шөпті қабатта *Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski, *Leymus angustus* (Trin.) Nevski, *Aristida heymannii* Regel. өсімдіктері бар. Зоналық түрлерден *Artemisia sublessingiana* кездеседі.

Tay етегіндегі гидроморфты мекендейтін жерлерде тығыз бұталы және галофитті шалғындар пайда болады. Бұталы тогайларда *Halimodendron halodendron*, *Nitraria sibirica* Pall., *Rosa beggeriana* Schrenk., *Berberis iliensis*, *Trachomitum lancifolium* (Russian.) Robed. өсімдіктері басым. Ағаш қабаттарын жиде (*Elaeagnus oxycarpa*), Корольков доланасы (*Crataegus korolkowii* L. Henry), әк тал (*Salix alba* L.) күрайды. Галофитті көкпекті-миялы (*Glycyrrhiza aspera* Pall., *Atriplex tatarica* L.), галофитті бозды-бетегелі (*Suaeda heterophylla* Kar. & Kir., *Atriplex tatarica*, *Aeluropus littoralis* Gouan., *Leymus divaricatus* (Drob.) Nevski, *L. angustus* (Trin.) Nevski, *Achnatherum splendens*, *Artemisia schrenkiana* Ledeb.) және батпақты (*Iris sogdiana* Bunge, *Scir-*

pus tabernaemontani (C.C. Gmel.) Nakai., *Mentha longifolia* (L.) Huds., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) шалғындар кеңінен таралған [20].

Карастырылып отырган аумақтағы Іле өзенінің аңгарына келесі қауымдастықтар тән: бұталы-жиделі-талды (*Salix songarica* Anderss., *S. Wilhelmsiana* Bieb., *Elaeagnus oxycarpa*, *Tamarix ramosissima*) тораңғылы (*Populus diversifolia*), астық тұқымдасты (*Phragmites australis*, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.) → тораңғылды-жиделі (*Elaeagnus oxycarpa*, *Populus diversifolia*) шағанды (*Fraxinus sogdiana* Bunge), бозды-бетегелі-астық тұқымдасты (*Leymus multicaulis* Kar. & Kir., *Elytrigia repens*, *Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) → тораңғылды (*Populus diversifolia*, *P. pruinosa*), ажырықты-бұталы (*Tamarix*, *Halostachys belangeriana* Mog., *Aeluropus littoralis* түрлері, *Achnatherum splendens*), қара сексеуілді (*Haloxylon aphyllum*) [22-28].

Өсімдік жамылғыларына фитоценозды жете бақылау 34 тұрақты бақылау нұктесінде жүргізілді. Мұнда өсімдік жамылғыларының стандартты сипаттамасы ауытқу сипаты мен дәрежесі көрсетілген жалпы қабылданған әдістермен сәйкес жүзеге асырылды (3, 4-кесте).

3-кесте – «Дөңгелек-бастау» бақылау аймағында кездесетін өсімдіктер тізімі

Өсімдіктердің атауы		
№	Латынша	Қазақша
1	<i>Achnatherum splendens</i>	Ақ ши
2	<i>Artemisia dracunculus</i> Krasch.	Шырғалжын жусаны
3	<i>Artemisia serotina</i> Bunge	Күздік жусан
4	<i>Asparagus persicus</i> Baker	Парсы қояншебі
5	<i>Berberis iliensis</i>	Ілебөрікарақаты
6	<i>Calystegia sepium</i> L. R.Br.	Арамшөп гүлшырмауық
7	<i>Chenopodium album</i> L.	Ақ алабота
8	<i>Cynanchum sibiricum</i> (L.) Decne.	Сібір жапалы
9	<i>Crataegus altaica</i> (Loud.) Lange	Алтай доланасы
10	<i>Elaeagnus oxycarpa</i>	Үшкір жеміс жиде
11	<i>Erigeron acris</i> L.	Күйдіргіш майдажелек
12	<i>Euphorbia soongarica</i> Boiss.	Жонғар сүттігені
13	<i>Glycchiriza glabra</i> L.	Жалан қызылмия
14	<i>Glycyrrhiza uralensis</i> Fisch.	Орал миясы
15	<i>Gypsophila perfoliata</i> L.	Тікжапыракты акқаңбак
16	<i>Halimodendron halodendron</i>	Ақ шенгел
17	<i>Iris halophila</i> Pall.	Бұжғын
18	<i>Juncus gerardii</i> Loisel.	Жерар елекшебі

3-кестенің жалгасы

Өсімдіктердің атауы		
№	Латынша	Қазақша
19	<i>Krascheninnikovia ewersmanniana</i> Botsch.& Ikonn.	Эверсман теріскені
20	<i>Lepidium latifolium</i> L.	Жалпақ жапырақ шытырмақ
21	<i>Leymus multicaulis</i>	Сары қияқ
22	<i>Lycium dasystemum</i> Pojark.	Түктіаталық тікенбұта
23	<i>Phragmites australis</i>	Кәдімгі қамыс
24	<i>Polygonum aviculare</i> L.	Қызыл таспа
25	<i>Rosa laxa</i> Retz.	Қотыр раушан
26	<i>Scirpus tabernacmontani</i>	Табернемонтан қамысы
27	<i>Sonchus arvensis</i> L.	Дала қалуені
28	<i>Trachomitum lancifolium</i>	Қызыл кендір
29	<i>Vexibia alopecuroides</i> (L.) Bunge	Кәдімгі ақмия
30	<i>Zygophyllum fabago</i> L.	Кәдімгі түйетабан

4-кесте – «Ұзынбұлак» бақылау аймағында кездесетін өсімдіктер тізімі

Өсімдіктердің атауы		
№	Латынша	Қазақша
1	<i>Achillea nobilis</i> L.	Қымбат мыңжапырак
2	<i>Betula tianshanica</i>	Тянь-шань қайыңы
3	<i>Bothriochloa ischaemum</i>	Қантаяр бозшагыл
4	<i>Bromus inermis</i> (Leyss.) Holub	Қылтанақсыз арпабас
5	<i>Caragana balchaschensis</i>	Балқаш қарағаны
6	<i>Convolvulus tragacanthoides</i>	Трагантты шырмауық
7	<i>Cynanchum sibiricum</i>	Сібір жапалы
8	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Салалы қарашағыр
9	<i>Dactylis glomerata</i> L.	Кәдімгі тарғакшөп
10	<i>Ephedra intermedia</i>	Қызыл тамыр қылشا
11	<i>Festuca valesiaca</i>	Көкшүнақ бетеге
12	<i>Juniperus sabina</i>	Қызыл арша
13	<i>Medicago lupulina</i> L.	Құлмақ жоңышқа
14	<i>Potentilla reptans</i> L.	Шырмауық қазтабан
15	<i>Rosa alberti</i> Regel	Альберт раушаны
16	<i>Rosa laxa</i>	Қотыр раушан
17	<i>Rosa platyacantha</i> Schrenk	Жалпақ тікен раушан
18	<i>Salix songarica</i>	Жонғар талы
19	<i>Spiraea hypericifolia</i>	Шайқурай тобылғысы
20	<i>Leonurus incanus</i> V.Krecz.& Kuprian.	Бозғылт сасықшөп

Фитоценоздық фондық бақылау үлттық парктің барлық аумағына жүргізілді, өсімдік жамылғыларының жалпы қазіргі жағдайы бағаланды және олардың деградацияға ұшырау дәрежесі мен факторлары, негізгі деградацияға ұшыратушы факторлардың кеңістіктік таралуы анықталды. Өсімдіктердің жалпы қазіргі жағдайын бақылау өсімдіктер жамылғысының жіктелуі мен фитоценоздық әртүрлілігін, оның кеңістіктік таралуын, аумақты өсімдіктер жамылғысының күйі бойынша экологиялық аймақтарға бөлуін ескере отырып жүргізілді: экологиялық норма, экологиялық қауіп-қатер және экологиялық дағдарыс.

Өсімдік жамылғыларының деградацияға ұшырау деңгейін бағалау үшін, бес балдық шкала қолданылды, онда түрлердің құрамы, түрлердің фитоценоздық рөлі, проективті жамылғысы, тіршілігі, өсімдіктің зақымдану дәрежесі, астық тұқымдасты шөптердің бұзылуы және басқалары ескерілді.

Фондық жағдай – өсімдіктерде доминанттармен байланысты түрлердің толық жиынтығы бар, өсімдіктердің тіршілігі жақсы.

Әлсіз деградацияға ұшырау – аумақтың көп бөлігінде негізгі доминантты құрам сақталған, өсімдіктердің күйі жақсы, флоралық құрамның толықтығы аздал деградацияға ұшыраған.

Орташа деградацияға ұшырау – аумақтың негізгі бөлігіндегі қауымдастықтардың басым құрамы сақталады, бірақ доминантты түрлердің тіршілігі әлсірейді, жеке тұлғалар саны мен проекциялық жамылғысы 1,5 есеге дейін төмендейді.

Қатты деградацияға ұшырау – үлкен аумақтағы қауымдастықтардың басым құрамы қатты деградацияланады.

Өте қатты деградацияға ұшырау – бастапқы қауымдардың антропогендік туындыларға ауысуымен бірге жүреді.

Бақылау уақыты 3 мезгілді қамтиды:

- а) көктем (1 сәуір – 10 мамыр аралығы);
- б) жаз (10 маусым – 20 шілде аралығы);
- в) күз (1 қыркүйек – 10 қазан аралығы).

Қорытынды

Корыта айтқанда, мониторинг жүргізу – еліміздің экологиялық бақылауының маңызды бөлігі болып табылады. Мониторинг жүргізу деградацияға ұшырау деңгейіне бақылау жүргізу. Мониториг жылдың 3 мезгілінде жүзеге асырылды (көктем, жаз, күз). Өсімдік жамылғыларына фитоценозды бақылау 34 бақылау нұктесінде жүргізілді. Мұнда өсімдік жамылғыларының стандартты сипаттамасы бұзылу сипаты мен дәрежесі көрсетілген жалпы қабылданған әдістермен сәйкес жүзеге асырылды.

34 бақылау нұктесіндегі өсімдік жамылғыларына жүргізілген бақылау 3 деңгейде міндеттерді орындағытын биоалуантурлілік мониторингінің акпараттық жүйесін құру үшін объективті мәліметтер алуға мүмкіндік берді: жергілікті, аймақтық, ғаламдық. Даалық зерттеу жұмысының жалпы қабылданған геоботаникалық және картографиялық әдістері қолданылды. Өсімдік жамылғылары даалық геоботаникалық зерттеулердің дәстүрлі әдістерін қолдану арқылы зерттелді. «Алтын-Емел» МҰТП кездесетін өсімдік түрлерінің номенклатурасын С.К. Черепанов (1995: 516) бойынша анықтады. Өсімдік жамылғыларына флоралық және фитоценоздық мониторинг жүргіздік.

«Алтын-Емел» МҰТП аймағындағы өсімдік жамылғыларының флоралық алуантурлілігі 88 тұқымдас пен 403 туыстан түтікті өсімдіктердің 864 түрі анықталған. 30 түрі Қызыл кітапта тіркелген, олардың арасында: кәдімгі өрік (*Armeniaca vulgaris*), Іле бөріқарақаты (*Berberis iliensis*), Виталий шөмішгүлі (*Aquilegia vitalii*), Іле үшқаты (*Lonicera iliensis*), кавказ таудағаны (*Celtis caucasica*), Михельсон кермегі (*Limonium michelssonii*), Фальконер бауыршөбі (*Hepatica falconeri*), ақшыл сепкілгүл (*Fritillaria pallidiflora*), Іле сексеуілшесі (*Arthropytum iliense*), тораңғыл (*Populus prinosa*), Іле сасыры (*Ferula iliensis*), Сиверс алма ағашы (*Malus sieversii*) және т.б.

Әдебиеттер

- 1 Баядилов К.О. Предисловие // Труды государственного национального природного парка «Алтын-Эмель». – 2016. – Вып. 2. – С. 7-10.
- 2 Angela K., Ole S., Marcello B. Molecular Techniques in the Assessment of Botanical Diversity // Annals of Botany. – 1996. – Vol. 78. – P. 143–149.
- 3 Ninkovic V., Dahlin I., Vucetic A., Glinwood R. Botanical Diversity – An Unexploited Resource For Plant Protection // Nordic View To Sustainable Rural Development. – 2015. – P. 58-60.
- 4 Wilson E.O., editor The current state of biological diversity // Biodiversity.National Academy Press. – 1988. – P. 3–18.

- 5 Pimm S.L, Russell G.J, Gittleman J.L, Brooks T.M. The future of biodiversity // Science. – 1995. – Vol. 269. – P. 347–350.
- 6 Meyer W.B, Turner B.L. Human population growth and global land-use/cover change // Annu. Rev. Ecol. Syst. – 1992. – Vol. 23. – P. 39–61.
- 7 Vitousek P.M, Mooney H.A, Lubchenco J, Melillo J.M. Human domination of earth's ecosystems // Science. – 1997. – Vol. 277. – P. 494–499.
- 8 Austin M. P. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling // Ecological Modelling. – 2002. – Vol. 157. – P. 101-118.
- 9 Bruno G. B., Jean-Jacques D.G., Kate S. Quantitative botanical diversity descriptors to set conservation priorities in Bakhuis Mountains rainforest, Suriname // The Linnean Society of London. – 2011. – P. 94-130.
- 10 Толмачев А.И. Введение в географию растений. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1974. – С. 244-248.
- 11 Розенберг Г.С., Саксонов С.В. Экологический мониторинг как элемент управления биологическими ресурсами // Региональный экологический мониторинг в целях управления биологическими ресурсами. ИЭВБ. – 2003. – С. 3-9.
- 12 Рачковская Е.И. и др. Предложения по ведению мониторинга степных экосистем пилотной территории «Иргиз-Тургай-Жыланшык». Проект АСБК, ГЭФ, ПРООН. – 2012. – С. 104-106.
- 13 Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / Университет Кэмбридж. – 1995. – С. 213-225.
- 14 Ryabushkina N., Gemedjieva N., Kobaisy M., Charles L. Cantrell. Brief Review of Kazakhstan Flora and Use of its Wild Species // The Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology. – 2008. – P. 64–71.
- 15 Проект Правительства РК/ГЭФ/ПРООН 00086425 «Повышение устойчивости системы охраняемых территорий в пустынных экосистемах через продвижение совместимых с биоразнообразием источников жизнеобеспечения внутри и вокруг охраняемых территорий». – 2015.
- 16 Рачковская Е.И. Джунгарская провинция. Ботаническая география Казахстана и Средней Азии / Под ред. Е.И. Рачковской. – СПб., 2003. – С. 205-209.
- 17 Данилов М.П., Веселова П.В., Кудабаева Г.М. Список видов сосудистых растений флоры ГНПП «Алтын-Эмель» // Труды государственного национального природного парка «Алтын-Эмель». – 2016. – Вып. 2. – С. 63-118.
- 18 Красная книга Республики Казахстан. Перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений. Постановление Правительства РК (дата обращения 31.10.2006).
- 19 Быков Б.А. О количественной оценке эндемизма // Ботанические материалы гербария. Инст. Ботан. АН КазССР. Известия Национальной академии наук РК. -1979. Вып. 11. – С. 3-8.
- 20 Иващенко А.А. О некоторых редких растениях Национального парка «Алтын-Эмель» и прилегающей территории // Труды государственного национального природного парка «Алтын-Эмель». – 2016. – Вып. 2. – С. 119-130.
- 21 Рубцов Н.И. Растительный покров Джунгарского Алатау. – Алматы: Изд-во АН КазССР. – 1948. – С. 184-186.
- 22 Байтулин И.О. Растительные ресурсы Казахстана и перспективы их рационального использования // Материалы республиканской конференции «Проблемы рационального использования лекарственно-технических растений Казахстана». – 1986. – С. 5-12.
- 23 Султанова Б.М., Димеева Л.А. и др. Редкие растительные сообщества южного макросклона Жетысуского Алатау // Вестник КазНУ. – 2016. Вып. 49, № 4. – С. 220-228.
- 24 Огарь Н.П. Растительность долин рек. Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области) / Под ред. Е.И.Рачковской. – СПб., 2003. – С. 138-141.
- 25 Камелин Р. В. О родовом эндемизме флоры Средней Азии // Ботанический журнал. – 1965. –Т. 50, №12. – С. 1705-1709.
- 26 Raven P.H. Catastrophic selection and edaphic endemism // Evolution. – 1964. – № 18. – P. 336-338.
- 27 Holub J., Prochaazka F., Cerousky J. List of extinet, endemic and threatened taxa of vascular plants of the flora of the Socialist Republic (First draft) // Preslia. – 1979. – Vol. 51, №3. – P. 213-237.
- 28 Rachkovskaya E.I. Vegetation / Republic of Kazakhstan. – 2006. – Vol. 1. – P. 363-393.

References

- 1 Bayadilov K.O. Predisloviye [Preface]. Trudy gosudarstvennogo natsionalnogo prirodnogo parka «Altyn-Emel» 2, (2016): 7-10. (In Russian).
- 2 Angela K., Ole S., Marcello B. Molecular Techniques in the Assessment of Botanical Diversity. Annals of Botany 78, (1996): 143–149.
- 3 Ninkovic V., Dahlin I., Vucetic A., Glinwood R. Botanical Diversity – An Unexploited Resource For Plant Protection. Nordic View To Sustainable Rural Development, (2015): 58-60.
- 4 Wilson E.O. The current state of biological diversity. In: Wilson E.O, editor. Biodiversity. National Academy Press (1998) 3–18.
- 5 Pimm S.L, Russell G.J, Gittleman J.L, Brooks T.M. The future of biodiversity. Science 269, (1995): 347–350.
- 6 Meyer W.B, Turner B.L. Human population growth and global land-use: cover change. Annu. Rev. Ecol. Syst. 23, (1992): 39–61.
- 7 Vitousek P.M, Mooney H.A, Lubchenco J, Melillo J.M. Human domination of earth's ecosystems. Science 277, (1997): 494–499.

- 8 Austin M. P. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modeling. *Eco-logical Modelling* 157, (2002): 101-118.
- 9 Bruno G. B., Jean-Jacques D.G., Kate S. Quantitative botanical diversity descriptors to set conservation priorities in Bakhuis Mountains rainforest, Suriname. *The Linnean Society of London*, (2011): 94-130.
- 10 Tolmachev A.I. *Vvedeniye v geografiyu rasteniy* [Introduction to plant geography]. Izd-vo Leningradskogo universiteta, L., (1974): 244-248. (In Russian).
- 11 Rozenberg G.S., Saksonov S.V. *Ekologicheskiy monitoring kak element upravleniya biologicheskimi resursami* [Environmental monitoring as an element of biological resource management]. *Regionalny ekologicheskii monitoring v tselyakh upravleniya biologicheskimi resursami*. IEVB, (2003): 3-9. (In Russian).
- 12 Rachkovskaya E.I. i dr. *Predlozheniya po vedeniyu monitoringa stepnykh ekosistem pilotnoy territorii «Irgiz-Turgay-Zhylanshyk»* [Proposals for monitoring the steppe ecosystems of the pilot area «Irgiz-Turgay-Zhylanshyk»]. Proyekt ASBK, GEF, PROON, (2012): 104-106. (In Russian).
- 13 Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii is opredelennykh gosudarstv* [Vascular plants of Russia and neighboring states]. Universitet Kembridzh, (1995): 213-225. (In Russian).
- 14 Ryabushkina N., Gemedjieva N., Kobaisy M., Charles L. Cantrell. Brief Review of Kazakhstan Flora and Use of its Wild Species. *The Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology*, (2008): 64-71.
- 15 Proyekt Pravitelstva RK/GEF/PROON 00086425 «*Povysheniye ustoychivosti sistem y ohranyaemykh territoriy v pustynnykh ekosistemakh cherez prodvizheniye sovmestimykh s bioraznoobraziyem istochnikov zhizneobespecheniya vnutri i vokrug okhranyayemykh territoriy*» [Project of the Government of RK/ GEF UNDP 00086425 “Improving the sustainability of the system of protected areas in desert ecosystems trough the promotion of biodiversity-compatible livelihoods in and around protected areas], 2015. (In Russian).
- 16 Rachkovskaya E.I. *Dzhungarskaya provintsiya* [Dzungar province]. *Botanicheskaya geografiya Kazakhstana i Sredney Azii*, pod red. E.I.Rachkovskoy, (2003): 205-209. (In Russian).
- 17 Danilov M.P., Veselova P.V., Kudabayeva G.M. *Spisok vidov sosudistykh rasteniy flory GNPP «Altyn-Emel»* [List of species of vascular plants of the flora of GNPP “Altyn-Emel”]. *Trudy gosudarstvennogo natsionalnogo prirodnogo parka «Altyn-Emel»* 2, (2016): 63-118. (In Russian).
- 18 Krasnaya kniga Respubliki Kazahstan [Red Book of the Republic Kazakhstan]. Perechen redkikh i nakhodyashchikhsya pod ugrozoy ischezneniya vidov rasteniy. Postanovleniye Pravitelstva RK (data obrashcheniya 31.10.2006). (In Russian).
- 19 Bykov B.A. O kolichestvennoy otsenke endemizma [About quantification of endemism]. *Botanicheskiye materialy gerbariya. Inst. Botan. AN KazSSR.*, Izvestiya Natsionalnoy akademii nauk RK 11, (1979): 3-8. (In Russian).
- 20 Ivashchenko A.A. O nekotorykh redkikh rasteniyakh Natsionalnogo parka «Altyn-Emel» i prilegayushchey territorii [About some rare plants of the National Park “Altyn-Emel” and adjacent territories]. *Trudy gosudarstvennogo natsionalnogo prirodnogo parka «Altyn-Emel»* 2, (2016): 119-130. (In Russian).
- 21 Rubtsov N.I. *Rastitelny pokrov Dzhungarskogo Alatau* [Vegetation cover of Dzungar Alatau]. – Izd-vo AN KazSSR, (1948): 184-186. (In Russian).
- 22 Baytulin I.O. *Rastitelnye resursy Kazakhstana i perspektivy ikh ratsionalnogo ispolzovaniya* [Plant resources of Kazakhstan and prospects for their rational use]. Materialy respublikanskoy konferentsii «Problemy ratsionalnogo ispolzovaniya lekarstvenno-tehnicheskikh rasteniy Kazakhstana», (1986): 5-12. (In Russian).
- 23 Sultanova B.M., Dimeyeva L.A. idr. *Redkye rastitelnye soobshchestva yuzhnogo makrosklona Zhetyssuskogo Alatau* [Rare plant communities of the southern macroslope of ZhetyssuAlatau]. *Vestnik KazNU* 49, no 4, (2016): 220-228. (In Russian).
- 24 Ogar N.P. *Rastitelnost dolin rek* [River valley vegetation]. *Botanicheskaya geografiya Kazakhstana i Sredney Azii (v predlakh pustynnoy oblasti)*, pod red. E.I.Rachkovskoy, (2003): 138-141. (In Russian).
- 25 Kamelin R.V. O rodovom endemizme flory Sredney Azii [About genus endemism the flora of Central Asia]. *Botanicheskiy zhurnal* 50, no 12, (1965): 1705-1709. (In Russian).
- 26 Raven P.H. Catastrophic selection and edaphic endemism. *Evolution*, (1964): 336-338.
- 27 Holub J., Prochaazka F., Cerousky J. List of extinet, endemic and threatened taxa of vascular plants of the flora of the Socialist Republic (First draft). *Preslia* 51, no 3, (1979): 213-237.
- 28 Rachkovskaya E.I. *Vegetation / Republic of Kazakhstan*, 1, (2006): 363-393.

МАЗМҰНЫ – CONTENTS – СОДЕРЖАНИЕ

Шолу мақалалары – Review article – Обзорные статьи

<i>Aliyaskarova U., Saparbaev M., Bissenbaev A.</i> Repair of interstrand DNA crosslinks induced by oxidative stress and anti-cancer agents	4	
1-бөлім Қоршаған органдың қорғау және қоршаған ортада антропогендік факторлардың әсері	Section 1 Environmental impact of anthropogenic factors and environmental protection	Раздел 1 Воздействие на окружающую среду антропогенных факторов и защита окружающей среды
<i>Genievskaya Y., Amalova A., Sarbayev A., Griffiths S., Abugalieva S., Turuspekov Y.</i> Resistance of common wheat (<i>Triticum aestivum L.</i>) mapping population Pamyat Azieva × Paragon to leaf and stem rusts in conditions of South-East Kazakhstan	14	
<i>Малгелдиев Д.Н., Ултандекова Г.Д., Балқыбек Е.Ж., Бекенов Б.Н., Сыдықбекова Р.К., Қарабаева И. Ж., Мұсабек Е.Д.</i> «Іле-Алатай мемлекеттік үлттық табиғи паркі» РММ Ақсай филиалының орман тұқымбактарына биоорганикалық тынайтыштарды қолдану технологиясы	24	
<i>Нұржанова А.А., Мамирова А.А., Пидлиснюк В., Джансугурова Л.Б.</i> Проблема СОЗ-пестицидов в Казахстане и способы их восстановления с помощью нового высокоеффективного фиторемедианта <i>Misanthus sinensis</i> (на примере Талгарского района)	34	
2-бөлім Қоршаған орта ластаушыларының биотага және тұрғындар денсаулығына әсерін бағалау	Section 2 Assessment of environmental pollution on biota and health	Раздел 2 Оценка действия загрязнителей окружающей среды на биоту и здравье населения
<i>Kalimagambetov A.M., Dyusembaeva A.A., Khalelova I.A., Aitasheva Z.G., Kudryavtsev B.N.</i> Chromosomal disorders in the fetus of pregnant woman from Aktau	46	
<i>Маденова А.К., Атишова М.Н., Кохметова А.М., Амангелдинова М.Е.</i> Идентификация носителей генов устойчивости к твердой головне <i>Tilletia Caries</i> (DC) пшеницы	53	
<i>Малик А.М., Абдиева Г.Ж., Уалиева П.С., Жубанова А.А., Артманн А.Т., Акимбеков Н.Ш., Тастамбек К.Т.</i> Скрининг микроорганизмов-деструкторов хлорорганических загрязнителей	61	
<i>Усербаева А.А., Бейсембек А.Е., Косалбаев Б.Д., Рысбекулы К., Болатхан К., Какимова А.Б., Заядан Б.К.</i> Влияния различных концентраций CO ₂ на продуктивность штаммов цианобактерий	72	
3-бөлім Биологиялық алуантүрлілікті сақтаудың өзекті мәселелері	Section 3 Actual problems of biodiversity conservation	Раздел 3 Актуальные проблемы сохранения биологического разнообразия
<i>Султанова Б.М., Баядилов К.О., Хабибрахманов Р.Х., Курмантаева А.А., Мирзалиева Д.Б.</i> «Алтын-Емел» Мемлекеттік үлттық табиғи паркінің ботаникалық алуантүрлілігіне бақылау жүргізу	82	