

ISSN 1563-034X; eISSN 2617-7358

Индекс 75880; 25880

ӘЛ-ФАРАБИ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

# ХАБАРШЫ

Экология сериясы

---

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЬ-ФАРАБИ

# ВЕСТНИК

Серия экологическая

---

AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

# EURASIAN JOURNAL

of Ecology

---

№2 (60)

Алматы  
«Қазақ университеті»  
2019



# ХАБАРШЫ

ЭКОЛОГИЯ СЕРИЯСЫ №3 (60) қыркүйек

ISSN 1563-034X; eISSN 2617-7358

Индекс 75880; 25880



25.11.1999 ж. Қазақстан Республикасының Мәдениет, ақпарат және қоғамдық келісім министрлігінде тіркелген

Куәлік №956-Ж.

Журнал жылына 4 рет жарыққа шығады

## 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, ҚР 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)

Торегожина Ж.Р., х.ғ.к., профессор м.а. (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)

Кушнарченко 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)

Томо Tatsuya, PhD докторы, профессор (Жапония)

Аллахвердиев Сулейман, PhD (Ресей)

## ТЕХНИКАЛЫҚ ХАТШЫ

Салмұрзаұлы Р., аға оқытушы (Қазақстан)

Экология сериясы қоршаған ортаны қорғау және қоршаған ортаға антропогендік факторлардың әсері, қоршаған орта ластаушыларының биотаға және тұрғындар денсаулығына әсерін бағалау, биологиялық алуантүрлілікті сақтаудың өзекті мәселелері бағыттарын қамтиды.



КАЗАҚ  
УНИВЕРСИТЕТИ  
Б А С П А Ү Й І

## Ғылыми басылымдар бөлімінің басшысы

Гульмира Шаккозова

Телефон: +7 747 125 6790

E-mail: Gulmira.Shakkozova@kaznu.kz

## Редакторлары:

Гульмира Бекбердиева

Агшла Хасанқызы

## Компьютерде беттеген

Айгүл Алдашева

## ИБ № 13062

Пішімі 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Көлемі 8.5 б.т. Тапсырыс № 5891.

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

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**

**Керімбай Б.С.\* , Джаналева К.М., Керімбай Н.Н.**

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,  
Казахстан, г. Нур-Султан, \*e-mail: kerimbay.bayan.22@mail.ru

## **БИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ БАСЕЙНА РЕКИ ШАРЫН**

Изучение закономерностей функционирования почвенно-растительного покрова высотнo-зональных геосистем стоит в ряду важнейших проблем геосистемно-бассейнового подхода. Ландшафты бассейна реки Шарын относятся к особо охраняемым природным территориям Казахстана, что является актуальностью исследования данной территории. В статье рассматриваются вопросы функционирования почвенно-растительного покрова бассейна реки Шарын на основе геосистемно-бассейнового подхода, ГИС-технологии и картографирования. Объект исследования – бассейн реки Шарын, находится на крайнем юго-востоке Казахстана, в предгорьях северных склонов Тянь-Шаня. В административном отношении это территория Райымбекского, Кегенского и Уйгурского районов Алматинской области. Собственными результатами авторов являются картографирование исследуемой территории с применением ГИС-технологий, выполненное на ArcGIS 10.1.: цифровые тематические карты физической географии, гидрографической сети, мезогеосистем бассейна реки Шарын; субгеосистем Верхнешарынской мезогеосистемы. Дифференциация почвенного покрова по высотнo-зональным геосистемам, выполненная по методике К.М. Джаналеевой, так же является результатом работы авторов. Одним из задач «Цифрового Казахстана» является цифровизация отраслей хозяйства, куда относятся и использование онлайн-возможностей и инновационных цифровых технологий при научных исследованиях. Выполненные авторами цифровые почвенные карты по высотным поясам и по Верхнешарынской, Среднешарынской и Нижнешарынской мезогеосистемам бассейна реки Шарын, могут найти активное применение при планировании и рекомендации по охране окружающей среды, при планировании экологического туризма. Так же эти цифровые карты могут быть использованы при планировании сельскохозяйственных, землеустроительных, картографических и кадастровых работ.

**Ключевые слова:** почва, растительность, геосистемы, высотная поясность, ГИС-технология.

Kerimbay B.S.\* , Dzhanaleeva K.M., Kerimbay N.N.

Eurasian National University named after L.N. Gumilyov,  
Kazakhstan, Nur-Sultan, \*e-mail: kerimbay.bayan.22@mail.ru

### **Biothich factors and soil cover of the Sharyn river basin**

The study of the patterns of functioning of the soil and vegetation cover of altitudinal zonal geosystems is among the most important problems of the geosystem-basin approach. The landscapes of the Sharyn river basin belong to the specially protected natural territories of Kazakhstan, which is the relevance of the study of this territory. The article discusses the functioning of the land and vegetation cover of the Sharyn river basin based on the geosystem-basin approach, GIS technology and mapping. The object of study is the Sharyn river basin, located in the extreme south-east of Kazakhstan, in the foothills of the northern slopes of the Tien – Shan. Administratively, this is the territory of Raiymbek, Kegen and Uygur districts of Almaty region. The authors' own results are the mapping of the study area, using GIS technology made on ArcGIS 10.1: digital thematic maps of physical geography, hydrographic network, mesogeological systems of the Sharyn river basin; subgeosystems of the Uppersharyn mesogeosystem. Differentiation of the soil cover by altitude – zone geosystems carried out according to the method of K.M. Dzhanaleeva is also the result of the work of the authors. One of the objectives of "Digital Kazakhstan" is the digitalization of economic sectors, which include the use of online capabilities and innovative digital technologies in scientific research. The digital soil maps made by the authors for high-altitude zones and the Uppersharyn, the Middlesharyn and the Lowersharyn mesogeosystems of the Sharyn river basin can be actively used in planning and recommendations on environmental protection, in planning ecological tourism. Also, these digital maps can be used when planning agricultural, cartographic and cadastral works.

**Key words:** soil, vegetation, geosystems, high-altitude zone, GIS technology.

Керімбай Б.С.\* , Джаналеева К.М., Керімбай Н.Н.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,  
Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., \*e-mail: kerimbay.bayan.22@mail.ru

### **Шарын өзені алабының биотикалық факторлары және топырақ жамылғысы**

Геожүйелік-алаптық көзқарастың маңызды мәселелерінің бірі – биіктік белдеулерде орналасқан геожүйелердің топырақ пен өсімдік жамылғысының тіршілік ету заңдылықтарын зерттеу. Зерттеудің өзектілігі Шарын өзені алабының ландшафтары Қазақстанның ерекше қорғалатын табиғи аумақтарына жататындығында. Мақалада геожүйелік-алаптық көзқараспен, сандық картаграфиялауға және ГАЖ технологиясына негізделген Шарын өзені алабының топырақ және өсімдік жамылғысы талқыланды. Зерттеу нысаны Қазақстанның оңтүстік-шығысында, Тянь-Шань тау жүйесінің солтүстік беткейлері бөктерінде орналасқан Шарын өзені алабы. Әкімшілік-территориалдық тұрғыдан, бұл Алматы облысының Райымбек, Кеген және Ұйғыр аудандарының аумағы. Авторлардың өз нәтижелері ГАЖ-технологиясын пайдалана отырып, ArcGIS 10.1-де жасалған зерттеу аумағын сандық карталау болып табылады: физикалық географиялық, гидрографиялық желінің, Шарын өзенінің мезогеожүйелерінің сандық тақырыптық карталары, Жоғарғышарын мезогеожүйесінің субгеожүйелерінің картасы. К.М. Джаналееваның әдісіне сәйкес орындалған геожүйелердің топырақ жамылғысын биіктік – белдеулерге сәйкес дифференциациялау да авторлардың жұмысының нәтижесі болып табылады. «Сандық Қазақстан» міндеттерінің бірі ғылыми-зерттеу саласында онлайн-мүмкіндіктер мен инновациялық цифрлық технологияларды пайдалануды қамтиды. Экологиялық туризмді жоспарлау кезінде, қоршаған ортаны қорғау бойынша жоспарлау мен ұсыныстар жасағанда авторлардың дайындаған, Шарын өзені алабының биіктік белдеулерінің және Жоғарғышарын, Ортаңғышарын және Төменгішарын мезогеожүйелерінің сандық топырақ карталарын қолдануға болады. Сондай-ақ, сандық карталарды ауыл шаруашылығы, жерге орналастыру, картографиялық және кадастрлық жұмыстарды жоспарлау кезінде де пайдалануға болады.

**Түйін сөздер:** топырақ, өсімдіктер, геожүйелер, биіктік белдеулер, ГАЖ технологиясы.

#### **Введение**

Все данные о почвенном покрове территории бассейна реки Шарын были получены на основе комплексных ландшафтных исследований кафедры физической географии в 1994-2014 гг.

Актуальностью темы является то, что для региона характерно наличие сложного горного рельефа, где альпийские скалистые пики и гребни сменяются крутосклонным сильно расчлененным высокогорьем, менее расчлененным среднегорьем и предгорьем, которые переходят в наклонную подгорную равнину. Формирование и развитие горных почв находится в прямой связи с рельефом, их абсолютной высотой, экспозиции и крутизны склонов. Большое разнообразие этих условий создает в горах сложную структуру вертикальной почвенной зональности. Цель исследования – на основе геосистемно-бассейнового подхода, ГИС-технологии и картографирования определить особенности функционирования почвенно-растительного покрова исследуемой территории. Задачами являются: изучить теоретические материалы картографической съёмки и на их основе создать физико-географическую цифровую карту, выделить гидрографическую сеть в

пространстве, а также геосистемы и их дифференциации, совместить полученные материалы и выявить особенности функционирования почвенно-растительного покрова территорий по высотным зонам. Изучение закономерностей функционирования почвенно-растительного покрова высотно-зональных геосистем стоит в ряду важнейших проблем геосистемно-бассейнового подхода. Часть земной поверхности, включающая почвогрунты, приземный слой воздуха и растительный покров, образуют речной бассейн. Образование и функционирование речного водосборного бассейна обусловлены взаимодействием эндогенных и экзогенных факторов. Территориально любой бассейн развивается в границах, обусловленных свойствами литогенной основы, в которой образуются русловые трещины, соседством других бассейнов, тектоническими условиями и т.п. [1-3].

#### **Материалы и методы исследования**

Методологическая основа работы формировалась на базе концепции системного подхода в ландшафтоведении, разработанной в трудах В.Б. Сочавы, Н.А. Солнцева, А.Г. Исаченко и др., на учении геосистемно-бассейнового под-

хода К.М. Джаналеевой. Применение бассейнового подхода позволяет в динамике оценивать взаимовлияние компонентов геосистем (водные объекты, почвенный покров, растительность), проводить комплексные картографические работы [4-6].

По А.Ю. Ретеюму, геосистема – сложная форма упорядоченности земного пространства-времени, созданная материальными сгустками в виде твердых, жидких и газообразных тел естественного и искусственного происхождения, скоплениями органического вещества, живыми организмами и человеком, которые меняют окружающую среду и составляют вместе со сферой своего влияния саморазвивающееся единство. И работа с геосистемами начинается с идентификации системообразующего начала, выбранного по теоретическим или практическим соображениям. Организация геосистем включает их дифференциацию, интеграцию, развитие и поддержание функционирования; следовательно, наука о геосистемах включает в качестве ингредиентов теоретические постулаты, обосновывающие закономерности их классификации, картирования, динамики и эволюции [7-9].

Изменение растительного и почвенного покрова / землепользования (LCLU) является критическим аспектом глобальных изменений окружающей среды, с глубокими социальными и экологическими последствиями. Исследования этих факторов особенно важны в условиях изменения окружающей среды. Понимание того, как биотические факторы влияют на географические ареалы почв, структуры биоразнообразия и на изменение окружающей среды является одной из наиболее острых проблем в экологии [10-12].

Нами проведен обзор научных работ почвенных исследований гор и предгорных равнин Северного Тянь-Шаня ученых «Казахского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова». «Почвы гор и предгорных равнин Северного Тянь-Шаня и Джунгарского Алатау» по разделу «Почвы и почвенный покров гор и предгорных равнин и межгорных долин Северного Тянь-Шаня», 1981-1985 гг. Картографические работы ученых этого института: Средне-масштабные почвенные карты 16 областей Казахстана в масштабе 1:300000 (1956-1968); Многотомная (13 вып.) монография «Почвы Казахской ССР» (1960-1970); Обзорная почвенная карта Казахстана в масштабе 1:2500000 (1976); Карта почвенно-географического районирования Казахстана масштаба 1:2500000 (1973); Почвенная карта Семиречья М 1:500000 (2003-

2005); «Составление почвенной карты юго-восточного Казахстана (Семиреченский полигон)», 1986-1990 гг. [13]. Так же нами изучен Национальный атлас Республики Казахстан, выполненный Институтом географии: 3 карты в первом томе «Природные условия и ресурсы», в разделе: «Почвы, земельные ресурсы» [14].

Все данные о почвенном покрове территории бассейна реки Шарын были получены на основе комплексных ландшафтных исследований кафедры физической географии в 1994-2014 гг. В настоящее время при исследовании компонентов ландшафта, таких как растительность и почвенный покров, стало эффективным и важным направлением применения ГИС-технологий. Конечным продуктом работы с ГИС-программами является представление данных в виде различных тематических карт. Карта – это графическое изображение пространственных данных. Информация, отображенная на карте, указывает существующие в природе взаимосвязи между объектами (явлениями, процессами) и существующие взаимозависимости между ними, а также дает возможность выявить динамику и эволюцию явлений во времени и в пространстве. Детальность отображения почвенного состава зависит от сложности почвенного покрова, назначения карты. Расшифрованная информация, изложенная на карте, раскрывает характер тенденций развития явления или процесса и прогноз будущих их состояний. Считается, что водосборный бассейн является фундаментальной геоморфологической системой, в которой упорядоченность ландшафта выражается в виде систематической и повторяющейся зависимости между склонами, почвами, местоположением и интенсивностью деятельности потоков энергии и вещества. Склоновые и русловые потоки формируют особые геосистемы высокой пространственно-временной организации. Речной сток через распределение водных ресурсов, особенности рельефа и микроклимата влияет на почвенный покров и растительность [15-17]. Проводился сравнительно-географический анализ опубликованных научных материалов по данной теме.

Геосистемы, формирующиеся в бассейне горной реки, являются особой разновидностью ландшафтов со специфическим набором факторов структурной организации геосистем, своеобразной почвой и биотой. Геосистемы бассейна рек очень динамичны и чутко реагируют на хозяйственную деятельность человека, происходящие изменения климата, поверхностного стока реки, уровню и расходу воды и т.д.

Исходными материалами для составления цифровых карт: физической географии, гидрографической сети, мезогеосистем бассейна реки Шарын (рис. 1-4) являются: топографическая карта Алматинской области (2002 г.) масштаба 1:500 000 [15] и серия тематических карт с научного фонда РК [18]. Обработка проведена на базе геоинформационной системы ArcGIS 10.1.

Комплексное изучение почвенно-растительного покрова объясняется разнообразием геолого-геоморфологических, гидрологических и климатических условий бассейна. Значитель-

ные изменения почвенно-растительного покрова прослеживаются по высотным поясам, где главенствующую роль играют азональные признаки. Широтно-зональные признаки геосистем бассейна реки Шарын определяются значительностью пространственного размещения. В общих чертах они совпадают с гипсометрией рельефа. Микроклиматические особенности играют значительную роль в формировании геосистем более низшего ранга. Территорию бассейна можно разделить на несколько высотных поясов (рис. 1).

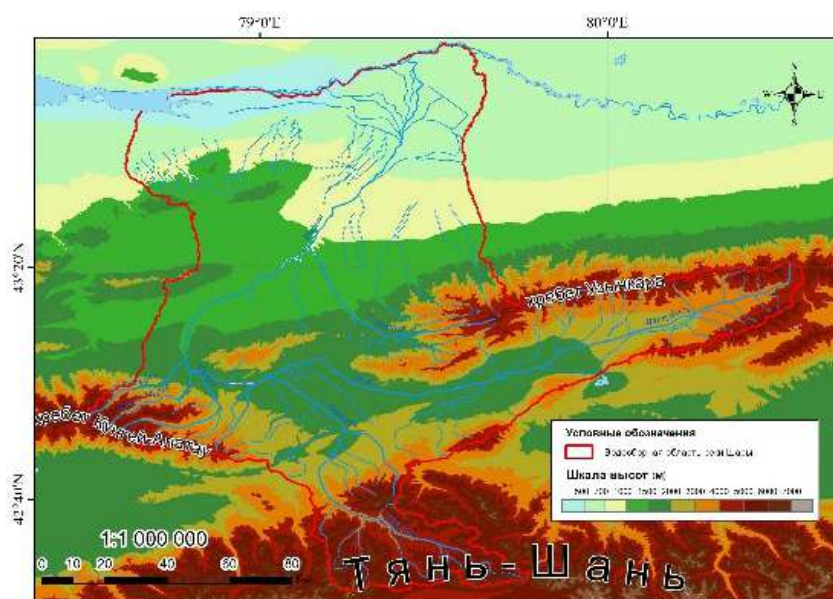


Рисунок 1 – Физико-географическая карта бассейна реки Шарын

## Результаты исследования и их обсуждение

По дифференциации высотно-зональных геосистем на территории бассейна реки Шарын (по К.М. Джаналеевой) выявлены следующие высотно-зональные геосистемы: Верхнешары́нская мезогеосистема (зона формирования стока): высокогорные лугово-нивальные; среднегорные лесолугово-степные; Среднешары́нская мезогеосистема (зона транзита стока): низкогорные степные; Нижнешары́нская мезогеосистема (зона рассеивания стока): предгорные сухостепные [19, 20]. Нами составлена карта почвенно-растительных зон гор, межгорных долин и предгорных равнин мезогеосистем бассейна реки Шарын (рис. 5, 6).

Для региона характерно наличие сложного горного рельефа, где альпийские скалистые пики

и гребни сменяются крутосклонным сильно-расчлененным высокогорьем, менее расчлененным среднегорьем и предгорьем (часто имеющим вид прилавок), которые переходят в наклонную подгорную равнину. Горный рельеф осложняется многочисленными межгорными долинами, впадинами и руслами рек. Территория бассейна реки Шарын характеризуется умеренным термическим режимом, коротким летне-осенним сухим периодом и весенне-летним максимумом атмосферных осадков, количество которых изменяется по высотным зонам от 125 до 881 мм в год. Почвообразующими породами являются продукты выветривания коренных пород, в основном гранитов и гранодиоритов, на прилавках и подгорных равнинах широко распространены лессы [18].

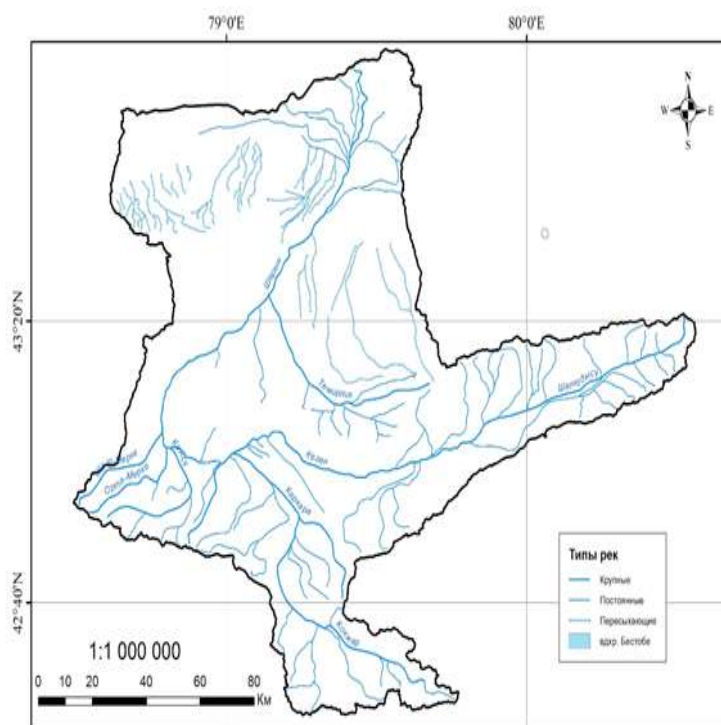


Рисунок 2 – Карта гидрографической сети бассейна реки Шарын

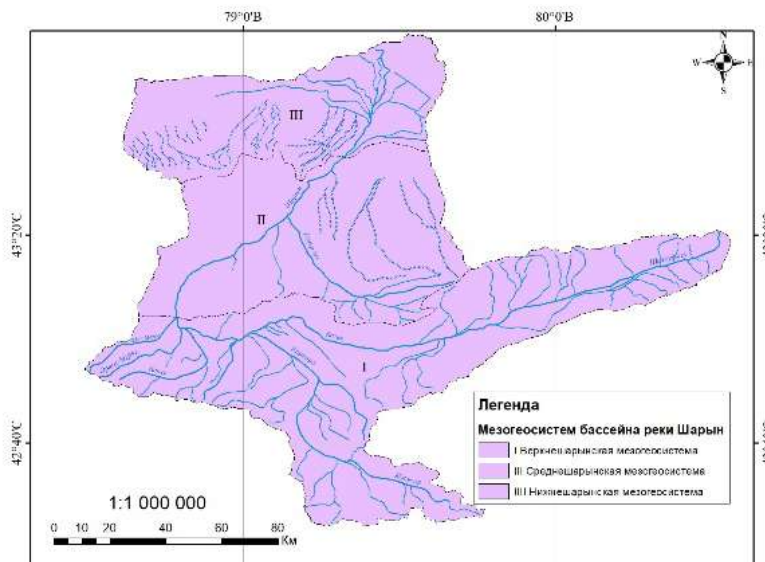


Рисунок 3 – Карта мезогеосистем бассейна реки Шарын



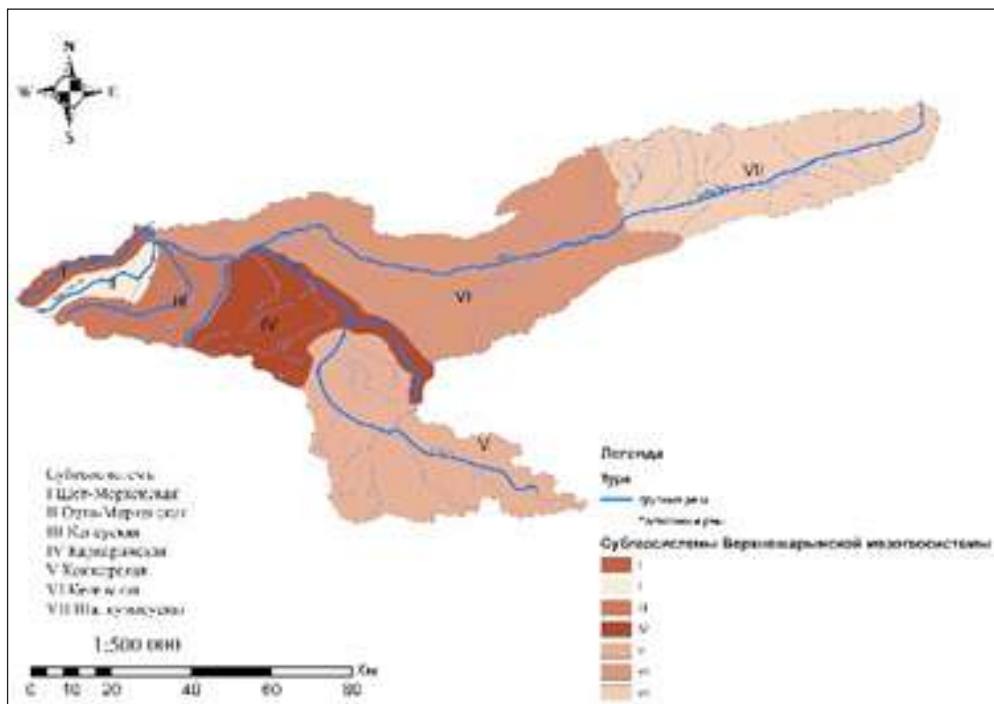


Рисунок 4 – Карта-схема субгеосистем Верхнешарынской мезосистемы бассейна реки Шарын

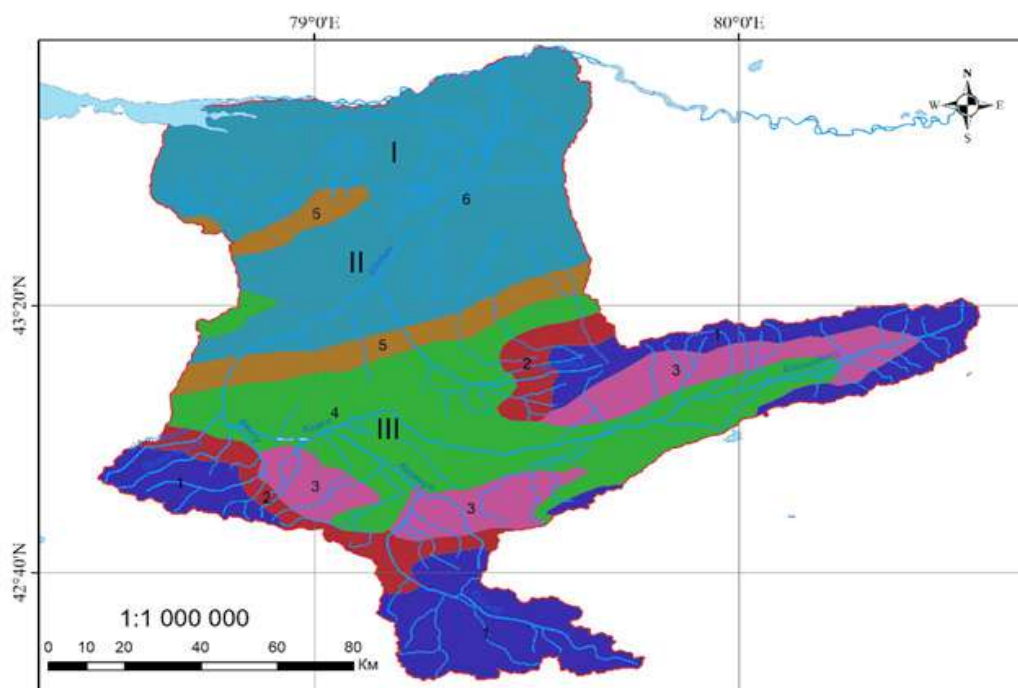
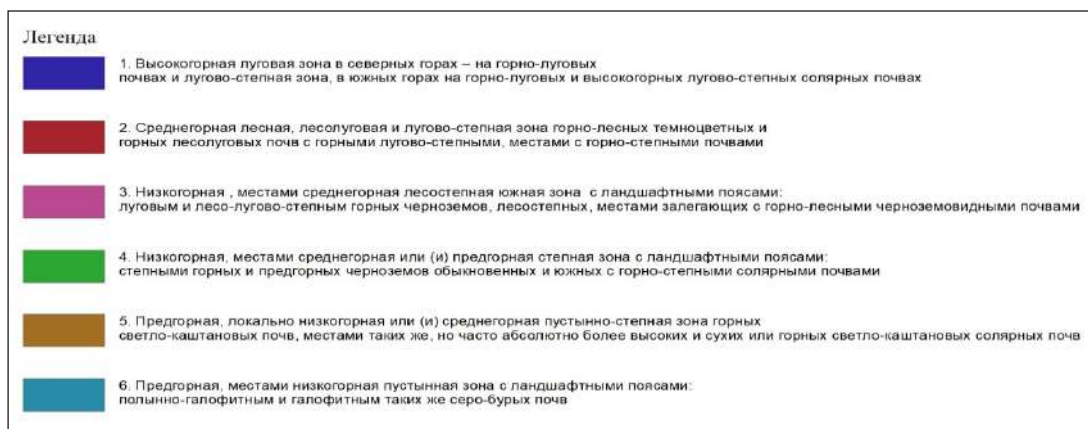


Рисунок 5 – Почвенно-растительные зоны гор, межгорных долин и предгорных равнин мезосистемы бассейна реки Шарын



**Рисунок 6** – Легенда к карте почвенно-растительных зон гор, межгорных долин и предгорных равнин мезогеосистем бассейна реки Шарын

Вертикальный ряд почв представлено следующими поясами (рис. 7, 8):

1. Высокогорный пояс (свыше 3000 м) расположен в зоне формирования стока, в Верхне-шарынской мезогеосистеме и сложен преимущественно палеозойскими породами. Территория отличается расчлененностью и почти полным отсутствием растительного покрова. В верхней части незначительные участки этого пояса были заняты современным оледенением в бассейнах рр. Каркара, Шет- и Орта-Мерке, Кенсу. На камнях и скалах поселяются лишь водоросли и лишайники, под воздействием которых протекают процессы биохимического выветривания. Ниже встречаются фрагменты альпийских лугов на горно-луговых почвах. Из растительности здесь хорошо развиваются лишайники и мхи [16, 17].

2. Среднегорный высотный пояс (3000-2200 м). По дифференциации высотно-зональных геосистем этот пояс тоже относится к Верхне-шарынской мезогеосистеме. Характерной особенностью этого пояса является сильная расчлененность рельефа с активными процессами эрозионной деятельности. Верхняя часть этого пояса занята альпийскими и субальпийскими лугами на темных горно-луговых почвах и арчевыми зарослями на темноцветных торфяных почвах. На склонах долин встречаются фрагменты с обнаженными участками, лишенными растительности. Окраины нижних участков среднегорно-высотного пояса покрыты еловыми лесами и высокотравными альпийскими лугами на горно-подзолистых и черноземовидных почвах.

Почвы верхней части данного пояса характеризуются небольшой мощностью, слабо

выраженной структурностью, высокой гумусностью (10-15%) и сильной задернованностью поверхности. Растительный покров представлен осоково-злаковой ассоциацией с примесью разнотравья (кобрезии, манжетки, герани, пырей ползучий, лютики, незабудки, горный мак, примула). Субальпийские горно-луговые почвы отличаются от почв альпийского пояса более темной окраской, большей мощностью гумусового горизонта (15-20%) и меньшей увлажненностью. Растительный покров образуют сочные низкорослые злаково-разнотравные луга, состоящие из герани, лютика, овсеца, овсяницы, лисохвоста, горной осоки [20, 21].

Нижняя и средняя части данного пояса на абсолютных высотах 2200-2800 м покрыты лесами и высокотравными альпийскими лугами на подзолистых и черноземовидных горно-лесных и горно-луговых почвах. Горно-лесные почвы имеют темноокрашенный гумусовый горизонт и отличаются слабой оподзоленностью. Растительность представлена еловыми лесами с подлеском из рябины, жимолости, шиповника. Травянистый покров разрежен (мятлик лесной, герань, борец и др.), а под тенистыми кронами елей развит моховой покров и растут папоротники. Оподзоленные темно-серые горно-лесные почвы развиваются на мелкозернистом лессовидном делювии пологих участков северных склонов субгеосистем зоны формирования стока бассейна реки Шарын. Растительный покров здесь представлен широколиственными редколесьями из дикой яблони, урюка, боярышника и кустарниковыми зарослями барбариса, шиповника, малины, смородины и т.д. Горные выщелоченные черноземы развиваются на относительно

ровных увалах и пологих склонах и характеризуются высоким содержанием гумуса (5-9%) и отсутствием карбонатов. В растительном покрове преобладают ковыль, полынь, костер и др. Ниже горных черноземов располагаются темно-каштановые почвы под типчаково-ковыльной растительностью и светло-каштановые почвы под типчаково-полынной растительностью на конусах выноса временных водотоков. Эти почвы характеризуются обилием питательных элементов, обладают хорошей структурой и воднофизическими свойствами. Содержание гумуса в них ко-

леблется от 3,5% (светло-каштановые почвы) до 6,5% (темно-каштановые) [21-23].

На южных склонах лесного пояса под кустарниковыми степями формируются своеобразные горно-степные почвы, отличающиеся светло-коричневой окраской, значительной карбонатностью подгумусовых горизонтов и резким падением содержания гумуса по глубине. Кустарниковая растительность представлена здесь эфедрой и караганныками. В травянистом покрове преобладают тимьян, овсяница, горный лук, хвощ, мятлик луговой, типчак.

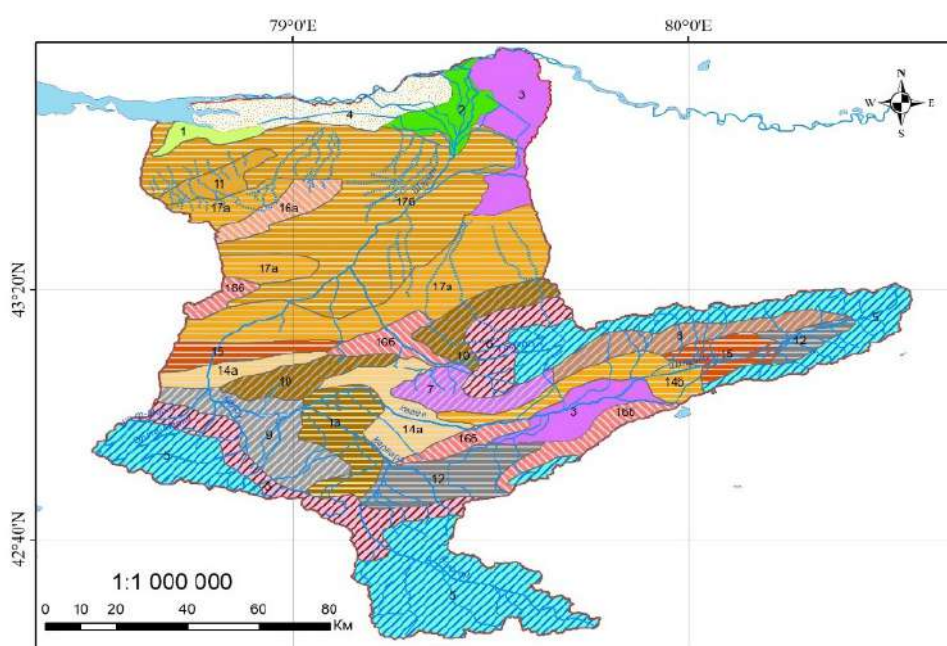


Рисунок 7 – Почвенная карта по высотным поясам

3. К низкогорному поясу относится район прилавков (предгорий с высотами 2200-1600 м). Это территории геосистем временных водотоков, которые отличаются более сглаженными формами рельефа. По существу – это гряды холмов с пологими склонами, верхняя часть которых покрыта разнотравно-злаковыми луговыми травами и кустарниковыми зарослями, а нижняя часть – ковыльно-типчаковой и злаково-полынной растительностью на горных черноземах и каштановых почвах. В верхней части данного пояса распространены степи луговые на горных черноземах, характеризующиеся увеличением карбонатов с глубиной, хорошо выраженной зернистой структурой и содержанием гумуса

в 6-7%. В растительном покрове преобладают ковыль, типчак, ежа, пырей ползучий и распространены злаково-разнотравные луга. В нижней части яруса распространены темно-каштановые почвы с содержанием 4% гумуса, с характерной злаково-полынной и ковыльно-типчаковой растительностью с участием полыней, тонконога, пырея ползучего.

4. Пояс пустынно-степной зоны предгорных равнин (ниже 1600 м), расположен в зоне рассеивания стока. Бессточные геосистемы и ландшафты, для которых характерны злаково-полынные и полынные степи на серобурых почвах. Для верхней части четвертого яруса характерны светло-каштановые почвы предгорных степей

с содержанием гумуса 2,0-2,8%. Растительный покров представлен белопольно-типчаковой и эбелеково-караганной ассоциацией с участием кохии и эфемеров. Ниже располагаются злако-

во-полынные и полынные степи на сероземных почвах, формирующиеся на пролювиальных валунно-галечниковых отложениях, для которых характерна защебненность [24-26].

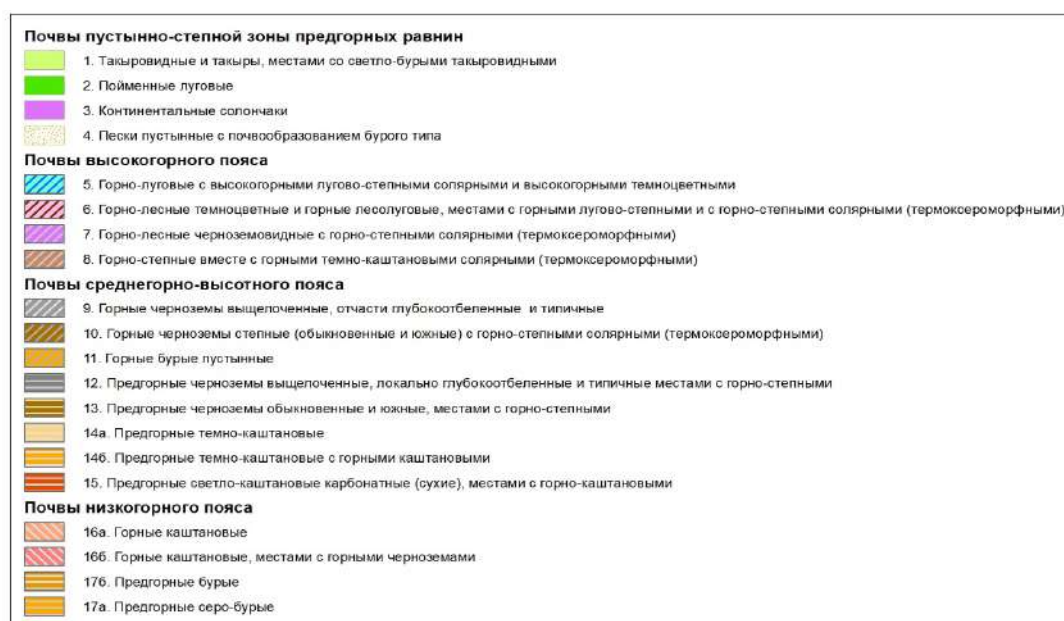


Рисунок 8 – Легенда к почвенной карте по высотным поясам

## Заключение

В результате, на основе геосистемно-бассейнового подхода, ГИС-технологии, изучения материалов картографической съёмки и материалов предыдущих научных исследований разных авторов создана база данных почвенно-растительного покрова бассейна реки Шарын. На основе проведенной дифференциации высотно-зональных геосистем составленной почвенной карты по высотным поясам и по мезогеосистемам выявлены современные особенности функционирования почвенно-растительного покрова бассейна реки Шарын.

В настоящее время мезогеосистемы бассейна реки Шарын, согласно особенностям почвенно-растительного покрова, используются под разные отрасли сельского хозяйства Райымбекского, Кегенского и Уйгурского районов Алматинской области. Зона горных степей среднегорно-межгорной Кегенской равнины (зона Верхнешарынской мезогеосистемы) почти полностью освоена под земледелие, используется под сенокосы и пастбища, а также на частичную заготовку древесины. Здесь возделываются зерновые, разви-

вается садоводство, огородничество. Кегенская равнина является главным овощеводческим районом. В ней возделываются также и зерновые культуры. Почвенный покров представлен орошаемыми и неорошаемыми северными обыкновенными сероземами. Равнинные геосистемы сильно видоизменены человеческой деятельностью и так же интенсивно используются в сельском хозяйстве. На сегодняшний день многовековое использование геосистем бассейна реки Шарын под сельскохозяйственное производство привело к трансформации почвенного и растительного покрова. Функционирование биоты и почвы протекает в двух направлениях:

1) антропогенное оскуднение и негативные последствия: потеря запаса гумуса, уплотнение почвы, иссушение, оскуднение микрочувствительной флоры;

2) создание новых природно-антропогенных комплексов (вторичных насаждений, агроландшафтов, водохозяйственных ландшафтов, селитебных ландшафтов и др.) благоприятно действует на формирование динамически устойчивых положительно новых природных условий, благоприятных для жизни и здоровья человека.

Выполненные нами цифровые карты могут найти активное применение при планировании сельскохозяйственных работ, экологического туризма, при планировании и рекомендации по охране окружающей среды, землеустроительных и др. работах.

### Литература

- Трифонова Т.А. Формирование почвенного покрова гор: геосистемный аспект // Почвоведение. – 1999. – № 26. – С. 174-181.
- Трифонова Т.А., Мищенко Н.В. и др. Бассейновый подход в экологических исследованиях. Владимир. – 2009. – 80 с.
- Гринберг А.М., Качалин А.Б. и др. Исследование структур речных водосборов с применением дистанционных методов // Изв. РАН. Сер. Геогр. № 1. – С. 126-140.
- Трифонова Т.А. (1994) Модель развития горного водосборного бассейна // Природа. – 1994. – № 2. – С. 106-119.
- Трифонова Т.А. Энергетическая модель развития горного литоводосборного бассейна и горного речного русла // Геоморфология. – 1995. – № 4. – С. 13-22.
- Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2001. – С. 150-163.
- Retejuna A.Ju., Snytko V.A. The geosystem concept in modern landscape science. Materials of the XII International Landscape Conference, Tyumen-Tobolsk. – 2017. – P. 24-27.
- Valerian A. Snytko, Yurii M. Semenov. The study of geosystem structure, development and functioning in Siberia. Methodology of landscape research. Commission of Cultural Landscape of Polish Geographical Society, Sosnowiec. – 2008. – P. 141-150.
- Zotic V. Componentele ale organizatiunii spatiale geografice, Press Universitară Clujeana, Cluj-Napoca, Romania. – 2005. – P. 184-186.
- Early R. Keith S. A., Geographically variable biotic interactions and implications for species ranges// Glob. Ecol. Biogeogr. – 2019. – Vol. 28. – P. 42-53.
- Dannenberg, M.P., Song, C., Hakkenberg, C.R. A long-term, consistent land cover history of the Southeastern United States// Photogr. Engineer. and Remote Sens. – 2018. – Vol. 84. – P. 559-568.
- Marull, J., Cunfer, G., Sylvester, K., Tello, E. A landscape ecology assessment of land-use change on the Great Plains-Denver (CO, USA) metropolitan edge // Region. Environmental Change. – 2018. – Vol. 18. – P. 1765-1782.
- Научно исследовательская работа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://soil.kz/2019/06/12>
- Национальный атлас Республики Казахстан. Институт географии. Том 1. – Алматы, 2010
- Drohan P.J., Farnham T.J. Protecting life's foundation: A proposal for recognizing rare and threatened soils. The Soil Science Society of America Journal. – 2006. – Vol. 70. – P. 2086-2096.
- Чалова Е.Р., Чалов Р.С. (1999) Бассейновый подход к комплексному картографированию // Вестник МГУ. География. – 1999. Сер. 5. – № 1. – С. 82-84.
- Топографическая карта Алматинской области РК. Масштаб 1:200 000. – Алматы: Издательство РГКП «Картография», 2002.
- Джаналеева К.М. Физическая география Республики Казахстан. – Астана: Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, «Аркас», 2010. – С. 433-445.
- Керімбай Н.Н. Закономерности структурной организации геосистем бассейна р. Шарын и вопросы рационального природопользования. – Алматы: Таугуль-Принт, 2008. – С. 45-55.
- Джаналиева Г.М. Структура ландшафтов Балхаш- Илийского мегагеосистемы [The structure of landscapes of the Balkhash-Ili megageosystem]. – Алма-Ата: КазГУ, 1993. – С. 43-58.
- Kerimbay N.N. Rational use of landscapes of geosystems of the Sharyn river basin. Monograph. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Germany. – 2015. – P. 45-68.
- Огарь Н.П., Гельдыев Б.В., Керімбай Н.Н. отчет «Подготовка проектных материалов к созданию национального природного парка «Чарынский каньон». Экологический Исследовательский Центр «ENVIRC», – Алматы, 1998.
- Жандаев М.Ж. Геоморфология Заилийского Алатау. – Алма-Ата: Наука, 1972. – С. 53-67.
- Какимжанов Е.Х., Прназарова А.Қ. «Research methods agrolandscapes of the mountain river basins based on satellite images (an example the basin of river kegen)». // International multidisciplinary scientific GeoConferences SGEM, Болгария. – 2014. – С. 93-121
- Kerymbay N.N., Kakimjanov E.X., Assylbekova A.A. Agri-environmental assessment of land for the development of landscape-adaptive farming systems using remote sensing and GIS technologies. The 4th Central Asia GIS Conference-GISCA`10. Water: Life, Risk, Energy and Landuse. – Bishkek: Kyrgyzstan, 2010. – P. 79-83.
- Джаналеева К.М. Теоретические и методологические проблемы географии. – Астана: КазУЭФимТ, 2008. – С. 282-289.

### References

- Chalova E.R., Chalov R.S. (1999) Bassejnovyy podkhod k kompleksnomu kartografirovaniyu [Basin approach to integrated mapping]. Vestnik MGU. Geografiya. Ser. 5, vol. 1, pp. 82-84.

- Dannenberg, M.P., Song, C., Hakkenberg, C.R. (2018) A long-term, consistent land cover history of the Southeastern United States. *Photogr. Engineer. and Remote Sens.*, vol. 84, pp.559-568.
- Drohan P.J., Farnham T.J. (2006) Protecting life's foundation: A proposal for recognizing rare and threatened soils. *The Soil Science Society of America Journal*, vol. 70, pp. 2086-2096.
- Dzhanaleeva K.M. (2010) *Fizicheskaya geografiya Respubliki Kazakhstan [Physical geography of the Republic of Kazakhstan]*. Astana, Evraziyskiy natsionalnyy universitet im. L.N. Gumileva. «Arkas», pp. 433-445.
- Dzhanaleeva K.M. (1993) *Struktura landshaftov Balhash- Iliiskogo megageosistemy [The structure of landscapes of the Balkhash-Ili megageosystem]*. Alma-Ata, KazGU, pp.43-58.
- Dzhanaleeva K.M. (2008) *Teoreticheskie i metodologicheskie problemy geografii [Theoretical and methodological problems of geography]*. [Monografiya]. Astana, KazUEFiMT, pp. 282-289.
- Early R. Keith S. A. (2019) Geographically variable biotic interactions and implications for species ranges. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, vol. 28, pp. 42-53.
- Grinberg A.M., Kachalin A.B. (1994) *Issledovanie struktur rechnyh vodosborov s primeneniem distancionnyh metodov [Investigation of river catchment structures using remote sensing methods]*. *Izv. RAN. Ser. Geogr.*, vol. 1, pp. 126-140.
- Kakimzhanov E.H., Prnazarova A.K. (2014) Research methods agrolandscapes of the mountain river basins based on satellite images (an example the basin of river Kegen). *International multidisciplinary scientific GeoConferences SGEM. Bolgariya.*, pp. 93-121.
- Kerimbai N.N. (2008) *Zakonomernosti strukturnoj organizacii geosistem bassejna r.Sharyn i voprosy racional'nogo prirodopol'zovaniya [Regularities of the structural organization of geosystems of the Sharyn river basin and environmental management issues]*. Almaty, Taugul'-Print, pp.45-55.
- Kerimbay N.N. (2015) *Rational use of landscapes of geosystems of the Sharyn river basin. Monograph. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrucken, Germany.*, pp. 45-68.
- Kerimbay N.N., Kakimjanov E.X., Assylbekova A.A. (2010) *Agri-environmental assessment of land for the development of landscape-adaptive farming systems using remote sensing and GIS technologies. The 4th Central Asia GIS Conference-GISCA'10. Water: Life, Risk, Energy and Landuse. Bishkek, Kyrgyzstan.*, pp. 79-83.
- Korytnyi L.M. (2001) *Bassejnovaya koncepciya v prirodopol'zovanii [Basin concept in environmental management]*. Irkutsk: *Izd-vo In-ta geografii SO RAN*, pp.150-163.
- Marull, J., Cunfer, G., Sylvester, K., Tello, E. (2018) A landscape ecology assessment of land-use change on the Great Plains-Denver (CO, USA) metropolitan edge. *Region. Environmental Change*, vol. 18, pp. 1765-1782.
- Nauchno issledovatel'skaya rabota [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://soil.kz.2019.06.12>
- Natsionalnyy atlas Respubliki Kazahstan. (2010) *Institut geografii. Almaty. Tom 1.*
- Ogar' N.P., Gel'dyev B.V., Kerimbai N.N. (1998) *Podgotovka proektnyh materialov k sozdaniyu nacional'nogo prirodnogo parka Charynskij kan'on [Preparation of project materials for the creation of the Charyn Canyon National Natural Park]*. *Ekologicheski Issledovatel'ski Centr «ENVIRC»*, Almaty.
- Retejum A.Ju., Snytko V.A. (2017) *The geosystem concept in modern landscape science. Materials of the XII International Landscape Conference. Tyumen-Tobolsk*, pp. 24-27.
- Topograficheskaya karta Almatinskoi oblasti RK [Topographic map of the Almaty region of Kazakhstan]. (2002) *Masshtab 1:200 000. Izdatel'stvo RGKP «Kartografiya»*, Almaty.
- Trifonova T.A. (1999) *Formirovanie pochvennogo pokrova gor. Geosistemnyj aspekt [Formation of mountain soil cover: the geosystem aspect]*. *Pochvovedenie*, № 26, pp. 174-181.
- Trifonova T.A., Mishchenko N.V. i dr. (2009) *Bassejnovyy podkhod v ekologicheskikh is- sledovaniyah [Basin approach in environmental studies]*. *Vladimir*, p. 80.
- Trifonova T.A. (1994) *Model' razvitiya gornogo vodosbornogo bassejna [Model of development of a mountain drainage basin]*. *Priroda*, vol. 2, pp.106-119.
- Trifonova T.A. (1995) *Energeticheskaya model' razvitiya gornogo litovodosbornogo bassejna i gornogo rechnogo rusla [The energy model of the development of a mountainous litho-drainage basin and a mountain river bed]*. *Geomorfologiya*, vol. 4, pp.13-22.
- Valerian A. Snytko, Yurii M. Semenov. (2008) *The study of geosystem structure, development and functioning in Siberia. Methodology of landscape research. Commission of Cultural Landscape of Polish Geographical Society. Sosnowiec*, pp.141-150.
- Zhandaev M.Zh. (1972) *Geomorfologiya Zailiiskogo Alatau [Geomorphology of Ili Alatau]*. Alma-Ata, Nauka, pp. 53-67.
- Zotic V. (2005) *Componen teleoperationale ale organization spatula geographic. Press Universitară Clujeana. Cluj-Napoca, Romania*, pp.184-186.

**Тастамбек К.Т.<sup>1\*</sup>, Акимбеков Н.Ш.<sup>1</sup>, Каирбеков Ж.К.<sup>1</sup>,  
Джелдыбаева И.М.<sup>1</sup>, Зиябекова М.У.<sup>1</sup>, Жубанова А.А.<sup>1</sup>, Дигель И.Э.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>НИИ проблем биологии и биотехнологии,  
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
Казахстан, г. Алматы, e-mail: [tastambeku@gmail.com](mailto:tastambeku@gmail.com)  
<sup>2</sup>Ахенский университет прикладных наук, Германия, г. Ахен

**РОЛЬ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ  
*ACINETOBACTER PITTI*. RKB1, *BACILLUS SP.* RKB2  
В ПРОЦЕССАХ БИОСОЛЮБИЛИЗАЦИИ  
БУРОГО УГЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КИЯКТЫ  
(г. Караганды, Казахстан)**

На основе проведенных исследований установлено, что два из пяти протестированных на углях штаммов углеводородоразрушающих бактерий *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2 солибилизируют чистые бурые и предварительно обработанный азотной кислотой угли. Установлено, что в течение 30-ти суток было растворено 25-28% сырого угля в сухом весе. Предварительная обработка угля азотной кислотой увеличила эффективность этого процесса на 52% при использовании штамма *Bacillus sp.* RKB2. Внеклеточная растворимость углей при использовании микробных штаммов с уменьшением pH несколько снизилась, что свидетельствует о вкладе некоторых щелочных веществ в растворение лигнита. Механизмы биосолюбилизации лигнита двумя штаммами различны. Это могут быть либо активные внеклеточные вещества, синтезированные *Acinetobacter pittii*. RKB1, либо, как в случае *Bacillus sp.* RKB2 – некоторые ферменты. Элементный анализ углей, предварительно обработанных  $\text{HNO}_3$  и продуктов биосолюбилизации, образующихся при действии бактерий *Acinetobacter pittii*. RKB1 или *Bacillus sp.* RKB2, показал наличие значительных различий между бурым углем и продуктами, образующимися в процессе микробной конверсии углей.

**Ключевые слова:** бурый уголь, окисленный уголь, биосолюбилизация.

Tastambek K.T.<sup>1\*</sup>, Akimbekov N.Sh.<sup>1</sup>, Kaiyrbekov Zh.K.<sup>1</sup>,  
Dzheldybaeva I.M.<sup>1</sup>, Ziabekova M.U.<sup>1</sup>, Zhubanova A.A.<sup>1</sup>, Digel I.E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Scientific Research Institute of Biology and Biotechnology Issues,  
al-Farabi Kazakh National University,  
Kazakhstan, Almaty, e-mail: [tastambeku@gmail.com](mailto:tastambeku@gmail.com)  
<sup>2</sup>Aachen University Applied Sciences, Germany, Aachen

**The role of hydrocarbon-oxidizing bacteria *Acinetobacter pittii*. RKB1  
and *Bacillus sp.* RKB2 in the processes of bio-solubilization  
of brown coal from the Kiyakty coal deposit  
(Karaganda, Kazakhstan)**

According to the obtained results, it was established that two strains from five hydrocarbon-destroying bacteria tested on coal – *Acinetobacter pittii*. RKB1 and *Bacillus sp.* RKB2 that can solubilize pure brown and pre-treated with nitric acid coal. It was established that 25-28% of raw coal was dissolved in dry weight within 30 days. Pretreatment of coal with nitric acid increased the efficiency of this process by 52% when *Bacillus sp.* RKB2 used. The extracellular solubility of coal with the usage of microbial strains decreased pH slightly, which indicates the contribution of some alkaline substances to the dissolution of lignite. However, the biosolubilization mechanisms of lignite of two strains were different. These can be either active extracellular substances that synthesized with *Acinetobacter pittii*. RKB1 or it can be some enzymes yielded with *Bacillus sp.* RKB2. Elemental analysis of coals that pretreated with  $\text{HNO}_3$  and biosolubilization products formed under the action of *Acinetobacter pittii*. RKB1, or *Bacillus sp.* RKB2 showed significant differences between lignite and products that formed during the microbial conversion of coal.

**Key words:** Lignite, leonardite, biosolubilization.

Тастамбек Қ.Т.<sup>1\*</sup>, Акимбеков Н.Ш.<sup>1</sup>, Каирбеков Ж.К.<sup>1</sup>,  
Джелдыбаева И.М.<sup>1</sup>, Зиябекова М.У.<sup>1</sup>, Жұбанова А.А.<sup>1</sup>, Дигель И.Э.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Биология және биотехнология мәселелері ҒЗИ,  
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Қазақстан, Алматы қ., e-mail: tastambeku@gmail.com

<sup>2</sup>Қолданбалы ғылымдардың Ахен университеті, Германия, Ахен қ.

**Қияқты кен орнының қоңыр көмірінің биосолюбилизация процестеріндегі  
көмірсутек тотықтырушы *Acinetobacter pittii* RKB1 мен  
*Bacillus* sp RKB2 бактерияларының рөлі  
(Қарағанды қ., Қазақстан)**

Жүргізілген зерттеулердің негізінде көмірсутекті тотықтырушы 5 бактериялардың екеуі *Acinetobacter pittii* RKB1 және *Bacillus* sp. RKB2 көмірде тәжірибе жасалып және таза қоңыр мен азот қышқылды ерітіндімен алдын ала өңделген көмірді солюбилиздейтіні анықталды. 30 күн ішінде көмірдің 25-28% құрғақ салмағының жоғалғаны анықталды. Көмірді азот қышқылымен алдын ала өңдегенде, бұл процестің тиімділігін *Bacillus* sp. RKB2 культураны қолданғанда 52% жоғарылатты. Микробтық штамдарды қолдану арқылы көмірдің жасушалық емес ерігіштігі РН төмендеді, бұл кейбір сілтілі заттардың қоңыр көмір ерітіндісіне қосқан үлесін көрсетеді. Қоңыр көмір биосолюбилизациясы екі штам бойынша механизмдері әртүрлі. Олар *Acinetobacter pittii* RKB1 синтездеген белсенді немесе жасушадан тыс заттар болуы мүмкін және *Bacillus* sp. RKB2 жағдайындағыдай кейбір ферменттер.  $\text{HNO}_3$  ерітіндісімен алдын ала өңделген және бастапқы қоңыр көмірдің *Acinetobacter pittii* RKB1 немесе *Bacillus* sp. RKB2 бактериялары әсерінен пайда болған биосолюбилизация өнімдері мен микробтық конверсия кезінде пайда болған өнімдер арасындағы элементтік анализдерде айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетті.

**Түйін сөздер:** қоңыр көмір, тотыққан көмір, биосолюбилизация.

## Введение

В настоящее время, вследствие истощения запасов сырой нефти и природного газа, значительное внимание исследователей направлено на разработку технологий для использования в качестве источника энергии бурых углей.

Свидетельством этому является тот факт, что более 96% мирового бурого угля, добываемого в мире, сжигается для выработки электроэнергии и достижения высоких температур. Однако, как известно, этот процесс сопровождается генерированием большого количества веществ, способствующих загрязнению окружающей среды токсичными соединениями ионов углерода, азота и серы. В связи с этим, необходим поиск альтернативных, экологически чистых технологий конверсии бурых углей [1, 2].

Разработка концепции микробной конверсии угля восходит к началу 20-го века, но важный прорыв в этой области был достигнут в 1981 году, когда Рене Факусса продемонстрировал, что некоторые бактерии (*Pseudomonas spp.*) способны к проведению реакций деградации бурого угля [3]. Год спустя Коэн и Габриэле нашли, что грибы белой и коричневой гнили, принадлежащие к *Basidiomycota*, такие как *Polyporus versicolor* и *Poria monticola*, также могут воздействовать на лигнит [4].

Эти наблюдения положили начало интенсивным исследованиям микроорганизмов, способных к трансформации углей [2, 5].

Как известно, существует три основных механизма биоконверсии углей – солюбилизация, деполимеризация и утилизация. Первый из них включает неферментативное растворение угля с получением черной жидкости. Этот процесс происходит при щелочных значениях рН и сопровождается образованием специфических веществ, выделяемых микроорганизмами, такими, как щелочные соединения, хелатообразующие агенты и поверхностно-активные вещества. Доказательством в пользу биосинтеза щелочных веществ является заметное повышение рН в процессе солюбилизации угля. Их вклад в биосолюбилизацию бурого угля был задокументирован для штаммов *Streptomyces*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus* и *Pseudomonas putida* [6, 7].

Свежесобранный бурый уголь обычно содержит около 70% воды. Его основными компонентами являются гуминовые кислоты с молекулярной массой 50 Да или больше. Бурый уголь является твердым веществом, благодаря ионным взаимодействиям между отрицательно заряженными карбоксильными группами и положительно заряженными ионами металлов, в основном, железа, кальция и магния. Следовательно, извлечение катионов металлов хелатирующими



агентами или основаниями увеличивает растворимость угля [8].

Второй процесс – деполимеризация угля, связан с деятельностью ферментов и происходит при pH ниже 6. Лигниндеградирующие оксидоредуктазы (пергидаза лигнина, марганец-зависимая пероксидаза и лакказы) и некоторые гидролазы расщепляют связи, которые поддерживают 3D структуру угля и выделение веществ, имеющих более низкие молекулярные массы и характер фульвокислот [2, 9]. Все эти реакции протекают быстрее, когда субстрат окисляется, и потому исследователи чаще всего использовали либо леонардит, либо бурый уголь, предварительно обработанный окислителем – агентом для включения атомов кислорода. Чаще всего применяются для этой цели растворы азотной кислоты, перекиси водорода, перманганата калия или озон.

Третий путь использования бурого угля включает его биодegradацию различными бактериями, дрожжами и нитчатými грибами, которые используют компоненты мобильной части лигнита в качестве источников углерода [25, 26].

За последние несколько лет количество публикаций, касающихся биоконверсии бурого угля, было ниже, чем в 1990-х годах. Тем не менее, исследования в этой области продолжались, совершенствовались методы обработки углей.

Так, одним из интересных вариантов является проведение биоконверсии бурого угля в мягких условиях, с использованием широкого спектра органических соединений. Другие варианты включают его преобразование в чистый углерод или жидкое топливо, которые могут быть использованы для производства энергии [22-24].

Большинство авторов, сообщающих о биоконверсии бурого угля, использовали различные виды грибов. Сведения об использовании потенциала бактериальных штаммов малочисленны. Так, в 1989 году Мэк и соавт. [7] сообщили, что консорциум штаммов *Bacillus* частично солюбилизовал неочищенный бурый уголь в течение 2-х недель и этот процесс был опосредован щелочными веществами, синтезированными этими бактериями.

Исследованиями Мачниковска и соавт. [10] выявлено, что бактерии *P. putida* солюбилизовали сырой лигнит на 11% и окисляли бурые угли почти на 90% в течение 14 дней. Цзян и соавт. достигнута 23% солюбилизация сырого бурого угля бактериями *Bacillus sp.* Y7 через 12 дней [11].

Эти примеры являются доказательством того, что не только грибы, но и бактерии способны эффективно солюбилизовать бурый уголь.

Учитывая имеющиеся в научной литературе сведения, нами был изучен потенциал некоторых бактериальных штаммов родов *Acinetobacter* и *Bacillus*, обладающих высоким потенциалом в отношении преобразования разнообразных веществ. Так известно, что многочисленные виды *Bacillus* способны к деградации различных ксенобиотиков, загрязнителей и некоторых природных полимеров, а также синтезировать биосурфактанты. Поэтому они широко используются в биотехнологии в течение многих лет [12,14]. Одной из привлекательных особенностей этих культур является биосинтез биосурфактантов, в основном, липопептидов. Так, Наджафи и соавт. сообщили, что бактерии данного штамма *Bacillus* способны к синтезу биосурфактантов в диапазоне pH от 5 до 9 и при температуре, изменяющейся от 20 до 50°C. Способность к росту и к биосинтезу биосурфактантов при повышенной температуре делает этот штамм привлекательным для биотехнологии [13,19]. Одним из важнейших путей его использования является повышение биорастворимости углей, т.е. процесса, позволяющего использовать бурые угли для получения жидкого топлива, ультрачистого углерода и метана. Несомненно, что для повышения экономической эффективности необходимы исследования по отбору штаммов, которые эффективно растворяют лигнит для того, чтобы предварительно охарактеризовать механизм действия. Пять из них: *Acinetobacter pittii* RKB1, *Bacillus sp.* RKB2, были выделены авторами этой работы из бурых углей.

## Материалы и методы исследования

### Биологический материал

В этом исследовании были использованы следующие коллекционные чистые культуры микроорганизмов, ранее выделенные из разных месторождений бурых углей. Они способны разлагать бурые угли и хранятся в коллекции чистых культур Института проблем биологии и биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби:

- *Acinetobacter pittii* RKB 1;
- *Bacillus sp* RKB 2;

Эти штаммы поддерживаются на косяках Лурия-Бертани (LB; триптон 10 г., дрожжевой экстракт – 5 г, NaCl – 10 г и агар (18 г на литр дистиллированной воды) при 4°C.

### *Бурый уголь*

Бурый уголь из месторождения Киякты, использованный в этом исследовании, любезно предоставленный НИИ новых химических технологий и материалов (КазНУ им. аль-Фараби, Казахстан), измельчали для получения дробы частиц лигнита диаметром  $\leq 0,2$  мм, которые отделяли с использованием сита.

Далее именно эта фракция подвергалась микробной солюбилизации.

### *Обработка бурого угля*

Бурый уголь (частицы диаметром  $\leq 0,2$  мм) предварительно обрабатывали с использованием 8N азотной кислоты. Пробу (6 г) помещали в колбы Erlenmeyer, погружали в 10 мл свежеприготовленного 8N раствора  $\text{HNO}_3$  в дистиллированной воде и инкубировали в течение 48 часов при комнатной температуре. Затем уголь промывали дистиллированной водой до нейтрального значения pH, фильтровали с помощью воронки Бюхнера и сушили в духовке при  $60^\circ\text{C}$  в течение 72 часов.

### *Скрининг микроорганизмов, солюбилизирующих бурые угли*

Бактериальные штаммы, подвергнутые скринингу, культивировали при  $37^\circ\text{C}$  в течение 48 ч на твердой среде LB (с агаром) в чашках Петри. Затем частицы стерильного бурого угля, помещали в колонии бактерий и продолжали инкубацию пластин (при  $37^\circ\text{C}$ ) для выделения штаммов, вызывающих появление коричневых ореолов вокруг бактериальных колоний, свидетельствующих о появлении продуктов солюбилизации.

### *Биосолюбилизация бурого угля*

Штаммы, отобранные в тестах на агаровой среде в чашках Петри, культивировали в 500 мл колбах, содержащих 200 мл среды LB (1% (об./об.) инокулята) при  $30^\circ\text{C}$  и скорости перемешивания 150 об/мин в течение 3 дней.

Затем в культуральные среды каждого штамма добавляли 5% (мас./об.) стерильного бурого угля. Культивирование продолжали в течение 14 суток при  $30^\circ\text{C}$  и 150 об/мин. Контроль содержал только среду LB и стерильный уголь.

Образцы культуральных сред (5 мл), отобранные в стерильных условиях в течение нескольких дней, центрифугировали при 10000 об/мин в течение 15 мин. Измеряли pH супернатантов.

### *Измерение степени биосолюбилизации бурого угля и анализ*

Степень биосолюбилизации бурого угля оценивали по потере веса образцов.

Далее в аналитической лаборатории университета Внутренней Монголии (г. Хох-Хотто, Китай) проводился элементный анализ бурых углей (нативных и обработанных  $\text{HNO}_3$ ), жидких продуктов, полученных обработкой бактериальными штаммами и нерастворимых остатков.

## **Результаты и обсуждение**

### *Скрининг штаммов, способных к биосолюбилизации бурого угля.*

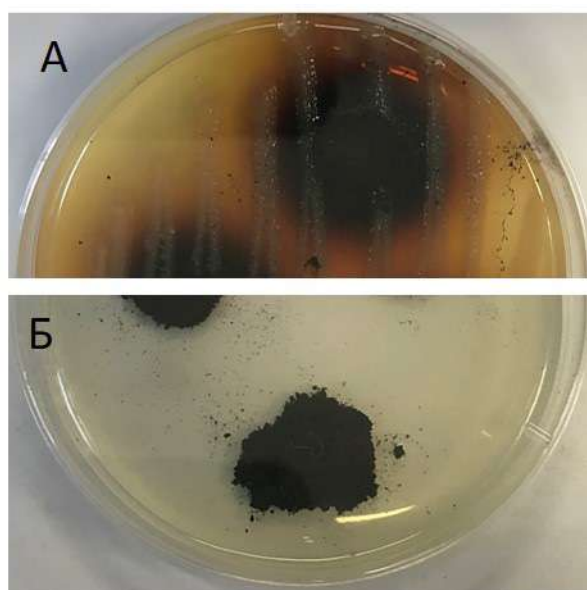
Выявлено, что только 2 из 5 штаммов бактерий способны активно проводить биосолюбилизацию сырого бурого угля. Эти два бактериальных штамма вызвали явное изменение цвета агаровой среды, дополненной неочищенным углем уже за 3 дня (рис. 1 А). Такие изменения не наблюдались в контрольных образцах, которые не были заражены бактериями (рис. 1 Б). Остальные три штамма способностью к быстрому растворению сырых углей не обладали и потому в дальнейших экспериментах не использовались.

### *Биосолюбилизация бурого угля*

Результаты солюбилизации бурого угля (сырого и обработанного азотной кислотой) при участии культур бактериальных штаммов – *Acinetobacter pittii*. RKB1, *Bacillus sp.* RKB2 (показаны в таблицах 1 и 2), согласуются с приведенными выше результатами, полученными на чашках с агаром, что подтверждает результаты, свидетельствующие о том, что предварительная обработка азотной кислотой повышает восприимчивость бурого угля к микробной солюбилизации.

Степень растворения бурого угля при совместном использовании двух штаммов на третий день достигала 15-19%, а потеря веса на 15-ый день, как можно увидеть, была на уровне 23,38-25,76% (табл. 1). Затем он увеличился до 26% и почти на 29% на 30-й день для *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2 соответственно.

В течение того же периода времени степень механической дезинтеграции бурого угля в контрольных образцах достигала 2,38%.



**Рисунок 1** – Солюбилизация угля при участии бактерий (7 дней):  
А – солюбилизация бурого угля бактериями, Б – контроль (без бактерий)

**Таблица 1** – Потеря веса исходного бурого угля при его солюбилизации бактериями *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2

Штамм	Потеря веса (%)		
	3 день	15 день	30 день
<i>Acinetobacter pittii</i> . RKB1	15,82±0,32	23,38±0,24	25,62±0,72
<i>Bacillus sp.</i> RKB2	19,12±0,64	25,76±0,48	28,46±0,54
Контроль	1,82±0,14	2,24±0,64	2,38±0,08

Согласно литературным данным, степень солюбилизации лигнита наиболее эффективными грибковыми штаммами составляла около 25% в течение 4 недель [11].

Степень солюбилизации сырого угля при участии бактерий *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2 сопоставима с таковой для *Bacillus sp.* Y7 (36,77% через 12 дней) [11] и значительно выше, чем в случае процесса, опосредованного культурой *P. putida* (25% через 14 дней) [20-21].

Увеличение степени солюбилизации в период между 15 и 30 днями было довольно низким, скорее всего, из-за снижения pH культуральной среды (рис.2). Значение pH контрольных сред, содержащих только культуральную среду и уголь, повышалось в течение первых трех дней с 7,99 (pH среды LB) до 8,11, а в течение от 3-его до 30-го дня постепенно снижалось и не менялось до конца процесса. Очевидно, такое изме-

нение pH обусловлено кислым характером бурого угля [15].

Рост двух выбранных штаммов и постепенная солюбилизация сырого угля вызывали практически одинаковые изменения pH. В течение первых 3 дней значение pH культуральных сред увеличивалось с 7,1 до 7,99-8,11, а затем постепенно уменьшалось (до 7,54-7,97) к концу процесса.

Степень биосолюбилизации исходного угля постепенно увеличивалась в течение 30 дней, независимо от изменений pH (рис.2).

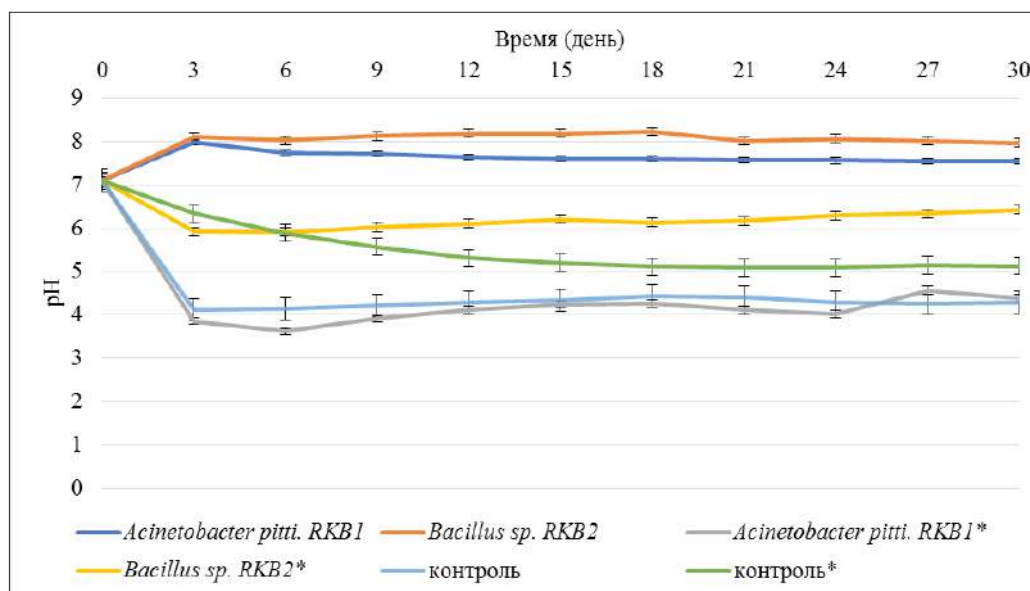
Полагают, что повышение pH в течение первой фазы процесса является следствием биосинтеза щелочных веществ обоими бактериальными штаммами [6, 16-18], в то время как дальнейшее снижение pH объясняется увеличением количества продуктов биосолюбилизации, имеющих кислотный характер.

**Таблица 2** – Потеря веса бурого угля с культурами *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2, предварительно обработанного  $\text{HNO}_3$ 

Штамм	Потеря веса (%)		
	3 день	15 день	30 день
<i>Acinetobacter pittii</i> . RKB1	27,42±0,44	41,12±0,36	49,82±0,08
<i>Bacillus sp.</i> RKB2	30,86±0,12	47,42±0,62	52,14±0,42
Контроль	2,64±0,08	4,86±0,22	6,22±0,56

Профили колебаний pH, наблюдаемые в этом эксперименте, отличались от данных, полученных для других видов *Bacillus*, которые также использовались для биотрансформации лигнита и вызывали постепенное повышение pH культуральной среды с 7,0 до 9,0 [11]. Мачниковский с соавт. [10], напротив, наблюдали снижение pH

культуральной среды (ниже 4,0) при биосолюбилизации лигнита бактериями *P. putida*. Очевидно, этот феномен (повышение pH) можно объяснить необходимостью нейтрализовать этим появление кислотных продуктов реакции для того, чтобы обеспечить соответствующие условия для роста бактерий этого вида.

**Рисунок 2** – Изменения pH супернатантов при биосолюбилизации неочищенных и предварительно обработанных азотной кислотой бурых углей\* бактериями *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2

Биоокисляемость бурого угля, обработанного азотной кислотой (27,42 и 30,86% для *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2, соответственно), происходила значительно быстрее, чем конверсия сырого угля и в течение первых 3 дней была примерно в 1,5 раза выше (Таблица 2). В последующий период биосолюбилизация продолжалась и достигла значений 49,82 и 52,14% в последний день. Однако, потеря веса за последние 15 дней (между 15 и 30 днями по сравнению с таковой между 3 и 15 днями) была довольно

небольшой. Колебания pH культуральных сред при росте на них двух выбранных штаммов были сходными (рис.2). В течение первых 3 дней значение pH культуральных сред снижалось с 7,1 до 3,86-5,93 и поддерживалось на этом уровне ( $\pm 0,5$ ) до конца этого периода. Следует отметить, что эта величина была намного выше, чем pH контроля (без инокуляции любым бактериальным штаммом величина pH снизилась до 4,12 в течение первых трех дней). Это снижение кислотности контроля связано с наличием остатков

азотной кислоты внутри пор предварительно обработанного бурого угля, не подвергнутого промывке дистиллированной водой. Считается, что поддержание pH культуральных сред *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2 на уровне 4,4-6,43 с 3 по 30 день процесса биосольюбилизации

является следствием биосинтеза щелочных веществ этими бактериями.

#### Элементный анализ

Элементный анализ выполнен на стандартной установке vario EL cube (Германия) для элементного микроанализа.

**Таблица 3** – Результаты элементного анализа бурого угля и продуктов, полученных из бурого угля с использованием бактерий *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2, а также продуктов, обработанных азотной кислотой\*

Пробы	Элемент (%)				
	N	C	H	S	O
Бурый уголь	0,47±0,01	64,68±0,01	3,324±0,00	0,21±0,02	31,32±0,03
Бурый уголь*	11,17±0,02	37,37±0,02	7,12±0,01	0,22±0,02	44,12±0,02
Бурый уголь+ RKB1	1,78±0,02	63,985±0,00	3,675±0,02	0,24±0,01	30,32±0,01
Бурый уголь+ RKB2	1,725±0,01	66,085±0,02	3,64±0,01	0,28±0,02	28,28±0,02
Бурый уголь+ RKB1*	17,35±0,02	43,09±0,01	5,131±0,01	0,23±0,01	34,2±0,02
Бурый уголь+ RKB2*	13,01±0,03	40,11±0,02	11,08±0,02	0,25±0,02	35,55±0,03
Бурый уголь+LB	1,94±0,02	62,925±0,02	3,55±0,01	0,213±0,03	31,38±0,01
Бурый уголь+LB*	12,61±0,03	47,78±0,03	6,71±0,02	0,18±0,01	32,72±0,02

Бурый уголь, окисленный либо при помощи 8N азотной кислоты, либо продуктов сольюбилизации, полученных из окисленного угля с использованием *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2, а также остатков от его биосольюбилизации, подвергали элементному анализу (Таблица 3).

Как видно, предварительная обработка бурого угля азотной кислотой уменьшала содержание углерода, водорода и серы и увеличивала содержание кислорода (от 28,18 до 44,12%) и азота (от 0,47 до 17,35%). Остатки, оставшиеся после биосольюбилизации окисленного бурого угля, характеризовались более низким содержанием анализируемых элементов. Продукты биосольюбилизации характеризовались повышенными

уровнями кислорода и азота, а также уменьшенными концентрациями углерода и серы.

#### Выводы

Установлено, что использование культур *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2 повышают степень сольюбилизации бурых углей.

Выявлено, что предварительная обработка бурого угля азотной кислотой повышает эффективность биосольюбилизации примерно на 52%.

Результаты элементного анализа подтвердили, что использование штаммов бактерий *Acinetobacter pittii*. RKB1 и *Bacillus sp.* RKB2 повышает эффективность сольюбилизации бурых углей.

#### Литература

- Shi K., Tao X., Yin S., Du Y., Lv Z. Bio-liquefaction of Fushun lignite: characterization of newly isolated lignite liquefying fungus and liquefaction products // *Procedia Earth and Planetary Science*. – 2009. – Vol. 1. – P. 627–633.
- Hofrichter M., Fakoussa R.M. Microbial degradation and modification of coal // *Biopolymers*. – 2001. – Vol. 1. – P. 393–429.
- Fakoussa R.M. Coal as a substrate for microorganisms. Investigations of the microbial decomposition of untreated bituminous coal (Doctoral dissertation) // Rhein Friedrich-Wilhelms University, Bonn. – 1981.
- Cohen M.S., Gabriele P.D. Degradation of coal by the fungi *Polyporus versicolor* and *Poria monticola* // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1982. – Vol. 44. – P. 23–27.
- Yin S., Tao X., Shi K. Bio-solubilization of Chinese lignite II: protein adsorption onto the lignite surface // *Mining Science and Technology*. – 2009. – Vol. 19. – P. 363–368.
- Quigley D.R., Ward B., Crawford D.L., Hatcher H.J., Dugan P.R. Evidence that microbially produced alkaline materials are involved in coal biosolubilization // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 1989. – Vol. 20. – P. 753–763.

- Maka A., Srivastava V.J., Kilbane J.J., Akin C. Biological solubilization of untreated North Dakota lignite by a mixed bacterial and a mixed bacterial/fungal culture // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 1989. – Vol. 20, – P. 715–729.
- Selvi A.V., Ram L.C., Singh G. Biodepolymerization studies of low rank Indian coals // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. – 2009. –Vol. 25. – P. 1713–1720.
- Singh H. Mycoremediation, Fungal Bioremediation, John Wiley & Sons Publication // New Jersey. – 2006.
- Machnikowska H., Pawelec K., Podgorska A. Microbial degradation of low rank coals // *Fuel Processing Technology*. – 2002. –Vol. 77-78. – P. 17–23.
- Jiang F., Li Z., Lv Z., Gao T., Yang J., Qin Z., Yuan H. The biosolubilization of lignite by *Bacillus sp.* Y7 and characterization of the soluble products // *Fuel*. – 2013. –Vol. 103. – P. 639–664.
- Arenskötter M., Bröker D., Steinbüchel A. Biology of the metabolically diverse genus *Gordonia* // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2004. –Vol. 70. – P. 3195–3320.
- Najafi A.R., Rahimpour M.R., Roostaazad R., Arabian D., Ghobadi Z. Enhancing biosurfactant production from an indigenous strain of *Bacillus mycoides* by optimizing the growth conditions using a response surface methodology // *Chemical Engineering Journal*. – 2001. – Vol. 163. – P. 188–194.
- Kwapisz E., Wszelaka J., Marchut O., Bielecki S. The effect of nitrate and ammonium ions on kinetics of diesel oil degradation by *Gordonia alkanivorans* S7 // *International Biodeterioration and Biodegradation* 61 (2008) 214–222.
- Hayatsu R., Winans R.E., Scott R.G., Moore L.P., Studier M.H. Characterisation of organic acids trapped in coals // *Nature*. – 1978. – Vol. 275. – P. 116–118.
- Strandberg W., Lewis S.N. Solubilization of coal by an extracellular product from *Streptomyces setonii* 75Vi2 // *Journal of Industrial Microbiology*. – 1987. – Vol. 1. – P. 371–375.
- Faison B.D. Biological coal conversions // *Critical Reviews in Biochemistry*. – 1991. – Vol. 11. – P. 347–366.
- Kai-yi S., Xiu-xiang T., Fen-fen H., Huan H., Yong-hua J., Ji-lan L. Mechanism of oxidation of low rank coal by nitric acid // *Journal of Coal Science and Engineering*. – 2012. – Vol. 18. – P. 396–399.
- Fredrickson J.K., Stewart D.L., Campbell J.A., Powell M.A., McMulloch M., Pyne J.W. Biosolubilization of low-rank coal by a *Trametes versicolor* siderophore-like product and other complexing agents // *Journal of Industrial Microbiology*. – 1990. – Vol. 5. – P. 401–406.
- Fakoussa R.M. The influence of different chelators on the solubilization/liquefaction of different pretreated and natural lignites // *Fuel Processing Technology*. – 1994. – Vol. 40. – P. 183–192.
- Cohen M.S., Feldmann K.A., Brown C.S., Grey E.T. Isolation and identification of the coal-solubilizing agent produced by *Trametes versicolor* // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1990. – Vol. 56. – P. 3285–3290.
- Kai-yi S., Xiu-xiang T., Su-dong Y., Ying D., Zuo-peng L. Bio-liquefaction of Fushun lignite: characterization of newly isolated lignite liquefying fungus and liquefaction products // *Procedia Earth and Planetary Science*. – 2009. – Vol. 1. – P. 627–633.
- Xiu-xiang T., Lan-ying P., Kai-yi S., hui C., Su-dong Y., Zhen-fu L. Bio-solubilization of Chinese lignite I: extra-cellular protein analysis // *Mining Science and Technology*. – 2009. – Vol. 19. – P. 0358–0362.
- Yin S., Tao X., Shi K., Tan Z. Biosolubilisation of Chinese lignite // *Energy*. – 2009. – Vol. 34. – P. 775–781.
- Dong L.H., Yuan Q., Yuan H.L. Changes of chemical properties of humic acids from crude and fungal transformed lignite // *Fuel*. – 2006. – Vol. 85. – P. 2402–2407.
- Inbar Y., Chen Y., Hadar Y. Humic substances formed during the composting of organic matter // *Soil Science Society of America Journal*. – 1990. –Vol. 54. – P. 1316–1326.

## References

- Arenskötter M., Bröker D., Steinbüchel A. (2004) *Biologiya metabolicheskogo raznoobraznogo roda Gordonia* [Biology of the metabolically diverse genus *Gordonia*]. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 70, pp. 3195–3320.
- Cohen M.S., Gabriele P.D. (1982) *Degradatsiya uglya gribami Polyporus versicolor i Poria monticola* [Degradation of coal by the fungi *Polyporus versicolor* and *Poria monticola*]. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 44, pp. 23–27.
- Cohen M.S., Feldmann K.A., Brown C.S., Grey E.T. (1990) *Vydeleniye i identifikatsiya rastvorayushchego ugol' agenta, proizvodimogo Trametes versicolor* [Isolation and identification of the coal-solubilizing agent produced by *Trametes versicolor*]. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 56, pp. 3285–3290.
- Dong L.H., Yuan Q., Yuan H.L. (2006) *Izmeneniya khimicheskikh svoystv guminovykh kislot iz neochishchennogo i gribkovogo transformirovannogo lignita* [Changes of chemical properties of humic acids from crude and fungal transformed lignite]. *Fuel*, vol. 85, pp. 2402–2407.
- Faison B.D. (1991) *Biologicheskaya konversiya uglya* [Biological coal conversions]. *Critical Reviews in Biochemistry*, vol. 11, pp. 347–366.
- Fakoussa R.M. (1981) *Ugol' kak substrat dlya mikroorganizmov. Issledovaniya mikrobnogo razlozheniya neobrabotannogo bituminoznogo uglya* [Coal as a substrate for microorganisms. Investigations of the microbial decomposition of untreated bituminous coal] Rhein Friedrich-Wilhelms University.
- Fredrickson J.K., Stewart D.L., Campbell J.A., Powell M.A., McMulloch M., Pyne J.W. (1990) *Biosolyubilizatsiya nizkosortnogo uglya produktom Trametes versicolor sideroforopodobnym i drugimi kompleksobrazuyushchimi agentam* [Biosolubilization of low-rank coal by a *Trametes versicolor* siderophore-like product and other complexing agents]. *Journal of Industrial Microbiology*, vol. 5, pp. 401–406.

- Fakoussa R.M. (1994) Vliyaniye razlichnykh khelatorov na solyubilizatsiyu . razzhizheniye razlichnykh predvaritel'no obrabotannykh i prirodnykh lignitov [The influence of different chelators on the solubilization.liquefaction of different pretreated and natural lignites]. *Fuel Processing Technology*, vol. 40, pp. 183–192.
- Hayatsu R., Winans R.E., Scott R.G., Moore L.P., Studier M.H. (1978) Kharakteristika organicheskikh kislot, popavshikh v ugli [Characterisation of organic acids trapped in coals]. *Nature*, vol. 275, pp. 116–118.
- Hofrichter M., Fakoussa R.M. (2001) Mikrobnaya degradatsiya i modifikatsiya uglya [Microbial degradation and modification of coal]. *Biopolymers*, vol. 1, pp. 393–429.
- Inbar Y., Chen Y., Hadar Y. (1990) Guminovyye veshchestva, obrazuyushchiesya pri kompostirovaniy organicheskikh veshchestv [Humic substances formed during the composting of organic matter]. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 54, pp. 1316–1326.
- Jiang F., Li Z., Lv Z., Gao T., Yang J., Qin Z., Yuan H. (2013) Biosolyubilizatsiya lignita *Bacillus* sp. Y7 i kharakteristika rastvorimyykh produktov [The biosolubilization of lignite by *Bacillus* sp. Y7 and characterization of the soluble products]. *Fuel*, vol. 103, pp. 639–664.
- Kai-yi S., Xiu-xiang T., Fen-fen H., Huan H., Yong-hua J., Ji-lan L. (2012) Mekhanizm okisleniya nizkosortnogo uglya azotnoy kislotoy [Mechanism of oxidation of low rank coal by nitric acid]. *Journal of Coal Science and Engineering*, vol. 18, pp. 396–399.
- Kai-yi S., Xiu-xiang T., Su-dong Y., Ying D., Zuo-peng L. (2009) Biologicheskoye szhizheniye lignita Fushun: kharakteristika vnov' vydelennogo lignitnogo griba i produktov szhizheniya [Bio-liquefaction of Fushun lignite: characterization of newly isolated lignite liquefying fungus and liquefaction products]. *Procedia Earth and Planetary Science*, vol. 1, pp. 627–633.
- Kwapisz E., Wszelaka J., Marchut O., Bielecki S. (2008) Vliyaniye nitratov i ionov ammoniya na kinetiku razlozheniya dizel'nogo topliva *Gordonia alkanivorans* S7 [The effect of nitrate and ammonium ions on kinetics of diesel oil degradation by *Gordonia alkanivorans* S7]. *International Biodeterioration and Biodegradation*, vol. 61, pp. 214–222.
- Maka A., Srivastava V.J., Kilbane J.J., Akin C. (1989) Biologicheskaya solyubilizatsiya neobrabotannogo lignita Severnoy Dakoty smeshannoy bakterial'noy i smeshannoy bakterial'noy . gribovoy kul'turoy [Biological solubilization of untreated North Dakota lignite by a mixed bacterial and a mixed bacterial.fungal culture]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 20, pp. 715–729.
- Machnikowska H., Pawelec K., Podgorska A. Mikrobnaya degradatsiya nizkosortnykh ugley [Microbial degradation of low rank coals]. *Fuel Processing Technology*, vol. 77, pp. 17–23.
- Najafi A.R., Rahimpour M.R., Roostaazad R., Arabian D., Ghobadi Z. (2001) Uvelicheniye proizvodstva biosurfaktanta iz mestnogo shtamma *Bacillus mycoides* putem optimizatsii usloviy rosta s ispol'zovaniyem metodologii poverkhnosti otveta [Enhancing biosurfactant production from an indigenous strain of *Bacillus mycoides* by optimizing the growth conditions using a response surface methodology]. *Chemical Engineering Journal*, vol. 163, pp. 188–194.
- Quigley D.R., Ward B., Crawford D.L., Hatcher H.J., Dugan P.R. (1989) Dokazatel'stva togo, chto mikrobiologicheskoye shchelochnyye materialy uchastvuyut v biosolyubilizatsii uglya [Evidence that microbially produced alkaline materials are involved in coal biosolubilization]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 20, pp. 753–763.
- Selvi A.V., Ram L.C., Singh G. Biodepolimerizatsionnyye issledovaniya nizkosortnykh indiykskikh ugley [Biodepolymerization studies of low rank Indian coals]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 25, pp.1713–1720.
- Shi K., Tao X., Yin S., Du Y., Lv Z. (2009) Bioszhizheniye lignita Fushun': kharakteristika vnov' vydelennogo lignita, razzhizhayushchego griba i produktov yego szhizheniya [Bio-liquefaction of Fushun lignite: characterization of newly isolated lignite liquefying fungus and liquefaction products]. *Procedia Earth and Planetary Science*, vol. 1, pp. 627–633
- Singh H. (2006) Mycoremediation [Mycoremediation]. *Fungal Bioremediation*, John Wiley & Sons Publication, New Jersey.
- Strandberg W., Lewis S.N. (1987) Solyubilizatsiya uglya vnekletochnym produktom ot *Streptomyces setonii* 75Vi2 [Solubilization of coal by an extracellular product from *Streptomyces setonii* 75Vi2]. *Journal of Industrial Microbiology*, vol. 1, pp. 371–375.
- Xiu-xiang T., Lan-ying P., Kai-yi S., C. -hui, Su-dong Y., Zhen-fu L. (2009) Bio-solyubilizatsiya kitayskogo lignita I: analiz vnekletochnogo belka [Bio-solubilization of Chinese lignite I: extra-cellular protein analysis]. *Mining Science and Technology*, vol. 19, pp. 0358–0362.
- Yin S., Tao X., Shi K., Tan Z. (2009) Biosolyubilizatsiya kitayskogo lignita [Biosolubilisation of Chinese lignite]. *Energy*, vol. 34, pp. 775–781.
- Yin S., Tao X., Shi K. (2009) Bio-solyubilizatsiya kitayskogo lignita II: adsorbtsiya belka na poverkhnosti lignita [Bio-solubilization of Chinese lignite II: protein adsorption onto the lignite surface]. *Mining Science and Technology*, vol. 19, pp. 363–368.

**Салмурзаулы Р.\* , Нуртазин С.Т., Конысбаев Т.Г.,  
Икласов М.К., Бараков Р.Т., Элебесов Т.А., Саулауов М.Ж.**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
НИИ проблем биологии и биотехнологии,  
Казахстан, г. Алматы, e-mail: [ruslan.salmurzauli@gmail.com](mailto:ruslan.salmurzauli@gmail.com)

## **БИОСФЕРНЫЙ РЕЗЕРВАТ «АКЖАЙЫК» – ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ С 1980 ГОДА, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ОСНОВНЫЕ РИСКИ И УГРОЗЫ**

Целью исследования являлся анализ современного состояния основных типов экосистем биосферного резервата «Акжайык» на основе полевых геоботанических и почвенных работ на обследованной территории, ретроспективный анализ климатических изменений в регионе за последние 38 лет, многолетней динамики гидрологических параметров реки Жайык (Урал), колебаний уровня, характера и последствий для биоты сгонно-нагонных явлений на северном побережье Каспийского моря, изучения разновременных космоснимков с использованием методов-ДЗЗ и ГИС-технологий. В результате был выявлен периодический характер изменений региональных климатических данных и гидрологических параметров реки Жайык (Урал), а также Каспийского моря. Показано, что тренды климатических изменений выражаются в уменьшении среднегодового количества осадков и ярко выраженном повышении среднегодовой температуры воздуха, что влечет последствия безусловно негативного характера для резервата «Акжайык», учитывая условия аридной зоны, в которых он расположен. На фоне многолетних колебаний выявляется тренд снижения водности реки Жайык (Урал) и происходит падение уровня Каспийского моря, что ведет к уменьшению интразональных мезо- и гидроморфных экосистем и снижению биоразнообразия. Показана эффективность мониторинга состояния биогеоценозов проектной территории на основе методов-ДЗЗ и ГИС-технологий.

**Ключевые слова:** биосферный резерват «Акжайык», гидрология, климат, ДЗЗ-методы, картирование, ГИС-технологии, река Урал (Жайык), антропогенная трансформация, деградация экосистем.

Salmurzauly R.\* , Nurtazin S.T., Konysbaev T.G.,  
Iklasov M.K., Barakov R.T., Elebesov T.A., Saulauov M. Zh.  
Al-Farabi Kazakh National University, Research Institute of Biology and Biotechnology,  
Kazakhstan, Almaty, e-mail: [ruslan.salmurzauli@gmail.com](mailto:ruslan.salmurzauli@gmail.com)

## **“Akzhayik” biosphere reserve – dynamics of change since 1980, modern condition, main risks and threats**

The aim of the study was to analyze the current state of the main types of ecosystems of the Akzhayik biosphere reserve based on field geobotanical and soil work in the surveyed territory, a retrospective analysis of climatic changes in the region over the past 38 years, the long-term dynamics of the hydrological parameters of the Zhayik (Ural) river, level and nature fluctuations and consequences for biota of overtaking phenomena on the northern coast of the Caspian Sea, the study of multi-temporal satellite images using remote sensing methods and GIS-technology. As a result, the periodic nature of changes in regional climatic data and hydrological parameters of the Zhayik (Ural) River, as well as the Caspian Sea was revealed. It is shown that climate change trends are expressed in a decrease in the average annual rainfall and a pronounced increase in the average annual air temperature, which entails consequences of an absolutely negative character for the Akzhayik reserve, taking into account the conditions of the arid zone in which it is located. Against the background of long-term fluctuations, a trend of a decrease in the water content of the Zhayik (Ural) River is revealed and a decrease in the level of the Caspian Sea occurs, which leads to a decrease in intrazonal meso- and hydromorphic ecosystems and a decrease in biodiversity. The effectiveness of monitoring the status of biogeocenoses of the project area based on remote sensing methods and GIS technologies is shown.

**Key words:** Akzhayik biosphere reserve, hydrology, climate, Earth remote sensing methods, mapping, GIS technologies, Ural (Zhayik) river, anthropogenic transformation, ecosystem degradation.



Салмурзаулы Р.\*, Нуртазин С.Т., Қонысбаев Т.Г.,  
Икласов М.К., Бараков Р.Т., Элебесов Т.А., Саулауов М.Ж.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, биология және биотехнология мәселелері ФЗИ,  
Қазақстан, Алматы қ., e-mail: ruslan.salmurzauli@gmail.com

**«Ақжайық» биосфералық резерваты – 1980 жылдан бастап өзгеру динамикасы,  
қазіргі жағдайы, негізгі тәуекелдер және қауіптер**

Зерттеулердің негізгі мақсаты зерттеліп жатқан территорияда «Ақжайық» биосфералық резерваттың негізгі экожүйелік типтерін, геоботаникалық және топырақ зерттеу далалық жұмыстарына негізделі отырып, қазіргі жағдайына анализ жасау. Жобаның негізгі зерттеу мақсаттары соңғы 38 жылдағы аумақтағы климаттық өзгерістерге анализ жасау, Жайық өзенінің көпжылдық гидрологиялық көрсеткіштерін анықтау, деңгейдің өзгерістерін, Каспий теңізінің солтүстік бөлігіндегі желшегерме-желкөтерме құбылыстардың нәтижесінде биотаның қалыпты жағдайы, ГАЗ және ЖАЗ технологияларының әдістерін қолдану арқылы ғарыш суреттерін зерттеу. Нәтижесінде Жайық өзенінің, оған қоса Каспий теңізінің гидрологиялық және климаттық көрсеткіштер периодтық өзгерістер байқалғаны көрсетілген. Климаттық өзгерістер негізінде, жылдық орташа температураның көтерілуі және жылдық орташа жауын-шашын мөлшерінің азаюы жатыр, нәтижесінде аридті зонаның жағдайын ескере отырып, бұл өзгерістердің барлығы «Ақжайық» резерватына кері әсер алып келетіні сөзсіз. Көп жылдық өзгерістерге байланысты Каспий теңізінің және Жайық өзенінің су деңгейі азаюда, сол себептен оның бәрі интерзональді мезо- және гидроморфты экожүйелердің және биоалуантүрліктің азаюын алып келді. ГАЗ және ЖАЗ-технологиялар әдістері негізінде жоба территориясындағы биогеоценоздар мониторингінің тиімділігі көрсетілді.

**Түйін сөздер:** «Ақжайық» биосфералық резерват, гидрология, климат, ЖАЗ-әдістері, карталау, ГАЗ-әдістері, Жайық өзені, антропогенді трансформация, экожүйелер деградациясы.

## **Введение**

В последние годы широко обсуждаются проблемы экологически безопасного и экономически эффективного развития территорий, одновременно обеспечивающего сохранение экосистем и здоровье населения. Эталономы таких экосистем являются особо охраняемые природные территории (ООПТ), прежде всего биосферные заповедники, максимально полно отражающие глобальное биоразнообразие планеты. Официально признанные международными организациями ООПТ, в частности биосферные заповедники и резерваты, являются важнейшим компонентом системы сохранения глобального и регионального биоразнообразия, а потому их развитие имеет большое значение для всего мирового сообщества стран-членов ООН.

Важным компонентом природных экосистем Республики Казахстан являются ветланды дельты реки (Урал) Жайык, с прилегающим побережьем и акваторией Каспия. Здесь, в климато-географической зоне северных полупустынь и пустынь, благодаря азональным аквальному экосистемам р. Жайык и Каспия, сложились уникальные условия для богатейшего видового и ценотического разнообразия. Исследование, мониторинг и охрана подобных территорий – одно из приоритетных направлений национальной политики по сохранению биоразнообразия.

Государственный природный резерват «Ақжайық» был организован постановлением Правительства Республики Казахстан № 119 «О некоторых вопросах создания государственного учреждения «Государственный природный резерват «Ақжайық» от 6 февраля 2009 года в дельте реки Урал и прилегающем побережье Каспийского моря. А 1 апреля 2009 года, резерват «Ақжайық» был включен в список водноболотных угодий международного значения [1].

В 2014 году резерват вошел во всемирную сеть биосферных резерватов ЮНЕСКО. Общая площадь резервата равна 11500 га. Река Жайык течет по территории России и Казахстана и ей как крупной трансграничной реке присуща большинство проблем совместного использования водных ресурсов (вододеления, загрязнения воды, использования рыбных ресурсов, особенно осетровых, и др.) [1]. В бассейне р. Жайык, как в России, так и в Казахстане, находятся крупные промышленные центры, много предприятий обрабатывающей и добывающей промышленности, масштабное сельскохозяйственное производство, включая около 360 тыс. га орошаемых земель [2].

В своем среднем и нижнем течении река Жайык течет по Казахстану в районах с недостаточным и крайне недостаточным увлажнением и высоким уровнем эвапотранспирации [3]. Но

именно здесь река и ее пойма отличаются максимальным видовым биоразнообразием и своеобразием флоры и фауны. Следует отметить, что в силу самых разных причин, резерват «Акжайык» подвергается давлению целого комплекса природных и антропогенных неблагоприятных факторов, рисков и угроз. Среди этих факторов следует перечислить глобальные и региональные климатические изменения [4], значительные годовые и сезонные колебания водности с трендом сокращения стока реки [5, 6], значительный сброс вредных промышленных, сельскохозяйственных и бытовых стоков как в российском, так и в казахстанском секторе реки [7].

Известно, что дельты рек могут рассматриваться в качестве индикаторов глобальных и региональных изменений, часто негативного характера, происходящих в окружающей среде под воздействием естественных и антропогенных факторов. Под давлением негативных факторов могут развиваться более или менее выраженные процессы деградации дельтовых экосистем. Хозяйственная деятельность в бассейне реки Жайык (Урал) приводит к уменьшению количества и ухудшению качества поступающих в дельту и Каспий речных вод. Жайык является единственным крупным источником поступления пресной воды в заповедные экосистемы дельты. Ежегодно река приносит более 8 км<sup>3</sup> пресной воды [8]. Это второй по объему сток пресной воды в Каспий после р. Волга.

С другой стороны, продолжается усиление давления на экосистемы дельты и прилегающего морского побережья загрязнения вод Каспия в результате все расширяющегося освоения нефтяных месторождений и так называемых стонно-нагонных явлений на море. Вместе с тем, в последние годы наблюдается понижение уровня Каспийского моря, что в сочетании со снижением водности реки Жайык ведет к обсыханию ряда аквальных и мезоморфных экосистем.

Учитывая специфические условия дельты Жайыка, находящейся под усиленным природным и антропогенным прессом, большое значение для сохранения уникальной природы резервата «Акжайык» приобретает контроль качества воды – среды обитания гидробионтов и продуктов питания человека – рыб, млекопитающих, птиц. Особое внимание необходимо уделять сохранению в экосистемах резервата особо ценных и эндемичных представителей фауны, включая огромное количество пролетных и гнездящихся птиц, осетровых рыб, на которых оказывается мощнейший пресс браконьерства.

Для оценки современного состояния экосистем и ее биоты на проектной территории дельты р. Урал нами изучены разновременные космические снимки проектной территории, собраны и проанализированы многолетние метеоданные и данные по водности реки Жайык (Урал) и уровню Каспийского моря.

### Материалы и методы исследования

В исследованиях нами использовались распространённые и хорошо апробированные классические методы, и подходы для проведения комплексного экологического анализа состояния естественных и культурных ландшафтов и их различных компонентов.

*Методы почвенных исследований.* В полевых исследованиях был использован ставший классическим сравнительно-географический метод и метод почвенных ключей (площадок). При исследовании конкретных почв были использованы морфологический и профильный методы, которые являются базисными при проведении полевых исследований и составляют основу диагностики почв. Проводились традиционные полевые морфологические описания почв, отбирались образцы для химического анализа по генетическим горизонтам [9].

*Методы геоботанических исследований.* Геоботанические изыскания проводились с целью изучения современного состояния растительного покрова. Исследования проводились маршрутным методом в соответствии с Инструкцией по проведению крупномасштабных (1:1000 – 1:100000) геоботанических изысканий природных кормовых угодий Республики Казахстан, 1996 г., разработанной в системе землеустройства Республики Казахстан [10].

В ходе полевых работ делались описания растительных сообществ, осуществлялось GPS-координирование точек описаний, проводилась фотосъемка и сбор гербария с целью уточнения флористического состава растительности района исследований.

При изучении растительности определялись: флористический состав растительных сообществ; их структура и пространственные размещение; приуроченность к условиям местобитания; степень антропогенного воздействия на растительность; проективное покрытие почвы растениями; высота травостоя; его развитие и глазомерная урожайность [11].

*Методы обработки спутниковых снимков и GPS-данных.* При выполнении поставленных за-

дач были использованы данные ДЗЗ, методы их дешифрования, а также классификация космических снимков с последующим составлением тематических ГИС-карт.

При картировании и классификации почвенно-растительного покрова и основных биоценозов были использованы мультиспектральные и радарные космические снимки с различным пространственным разрешением от 10 до 60 метров. Для картирования ключевых участков были использованы спутниковые снимки с высоким пространственным разрешением Sentinel 2 (10 метров).

Классификация и сравнение площадных соотношений основных биоценозов выполнены на основе мультиспектральных снимков, по-

лученных космическим аппаратом (КА) серии Landsat: Multispectral Scanner (MMS); Thematic Mapper (TM); Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) и Operational LandImager (OLI), которые широко используются в исследованиях водно-болотных угодий и дельтовых экосистем [12, 13].

Предварительная обработка и классификация спутниковых снимков и дальнейшее составление тематических карт производились с использованием широко распространенных ГИС-пакетов ENVI 5.0; PCI Geomatica; ArcGis и Surfer Golden Software.

Подробная информация и последовательность применяемых методов ДЗЗ показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Последовательность применения методов ДЗЗ в картировании основных биоценозов дельты реки Жайык

### Результаты анализа динамики климатических изменений на территории дельты реки Жайык

Многолетние колебания режима атмосферных осадков и температуры воздуха рассмотрены по данным 2-х метеорологических станций в низовьях реки Урал (МС «Пешное» и МС «Махам-

бет») за период 1980-2017 гг. Анализ данных МС «Пешное» по количеству осадков за 38-летний период с 1980-2017 гг. дал среднегодовое значение 199,9 мм, а данных МС «Махамбет» – 192,4 мм, что указывает на выраженную аридность климата на проектной территории. При этом, в годовом ходе осадков максимум, ежемесячно по 17,1 мм, приходится на весенние месяцы (март-

апрель-май) и вторичный максимум, ежемесячно по 14,4 мм, отмечается осенью. Минимальное количество осадков – ежемесячно по 12,7 мм выпадает зимой (декабрь-январь-февраль) по всей рассматриваемой территории. В целом за год преобладают осадки теплого периода.

Анализ линейного тренда во временном ходе годовых сумм осадков за рассматриваемый 38-летний период по двум метеостанциям, прежде всего, показывает, что, начиная с

1980 года в первые 30 лет видна отчетливая тенденции роста среднегодового количества осадков со 139,9 мм в период 1980-1989 гг. до 294,9 мм в период 1990-1999 гг. С период 2000-2007 гг. среднегодовое количество осадков заметно снизилось (до 174,7 мм/г). Максимальные положительные значения коэффициента линейного тренда отмечены на МС Махамбет (22,3 мм/10 лет в период 1980-1999 гг.) (рисунок 2).

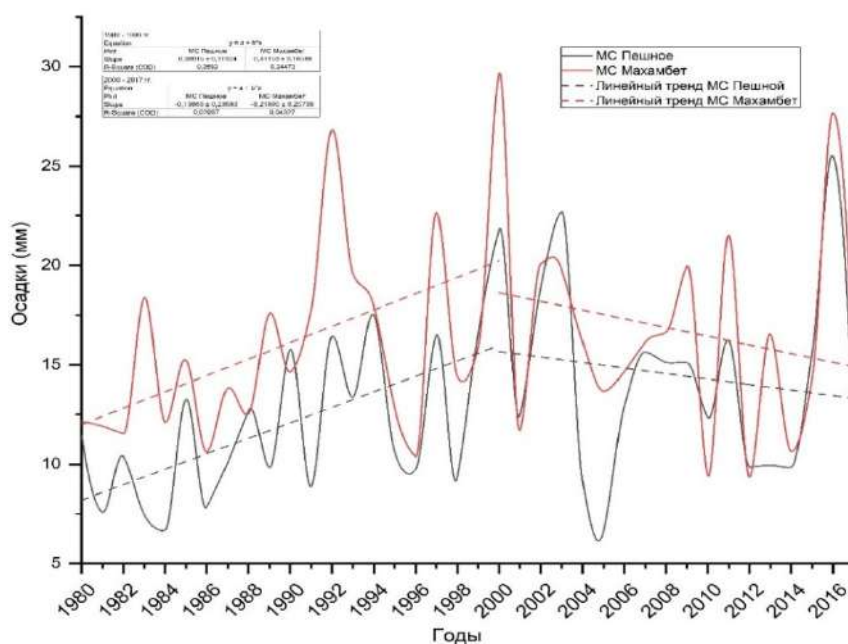


Рисунок 2 – Среднегодовые суммы осадков в период 1980-2017 гг. по 2-м МС «Пешной» и «Махамбет»

Несмотря на большую изменчивость атмосферных осадков от года к году в рассмотренный период (1980-2017 гг.), анализ линейного тренда во временном ходе осадков показывает, что тенденции роста осадков были выражены сильнее в первые 30 лет, а затем несколько снизились (рисунок 2). Минимальное годовое количество осадков в рассматриваемый период было зарегистрировано в 2005 году на МС «Пешное» – 79,6 мм, а максимальное в 2000 гг. на МС «Махамбет» – 355 мм.

Основными характеристиками температурного режима служат средняя годовая и средняя месячная температура воздуха, абсолютный максимум и абсолютный минимум температур. Представление об изменчивости температуры

дают отклонения фактической температуры от ее средней многолетней (нормы). Исходным материалом при исследовании служили многолетние данные (1980 – 2017 гг.) по температуре воздуха по двум вышеуказанным МС исследуемой территории: «Пешное», «Махамбет».

Годовой ход, обычный для континентального климата, когда самым жарким месяцем является июль, а самым холодным – январь, характерен для всей проектной территории. Средняя месячная температура воздуха может значительно меняться от года к году. Поэтому помимо среднемесячных значений при описании климатических условий важно иметь данные об их изменчивости. Для характеристики изменчивости температуры принято использовать среднеква-

дратические отклонения, или максимальные и минимальные значения метеорологической величины.

Наибольшей межгодовой изменчивостью обладают зимние месяцы, наименьшей – летние. Так среднее многолетнее значение температуры воздуха января на проектной территории колебалось от  $-2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 2000 г. до  $-14,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 2006 г. на МС «Пешное», а в июле от  $23,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 1980 г. до  $27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 2010 г. на той же МС. По данным МС «Махамбет» среднее многолетнее значение температуры воздуха января на проектной территории колебалось от  $-3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 2000 г. до  $-16,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 2006 г, а в июле от  $23,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 1994 г. до  $30,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 2010 г. Таким образом, изменчивость температуры воздуха колебалась в зимние месяцы от  $-11,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в летние месяцы – от  $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температуры теплого периода года, особенно летние, достаточно устойчивые, их межгодовая изменчивость минимальна по

сравнению с другими месяцами года. Абсолютный максимум температуры зафиксирован на МС Махамбет в 1981 г. ( $+53\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Абсолютный минимум температуры воздуха наблюдался в 2003 г. и составил в ( $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Изменение термического режима за период 1980 – 2017 гг. Исходной информацией для оценки тенденции во временных рядах метеовеличин послужили данные о средней месячной и годовой температуре приземного воздуха на МС «Пешное» и «Махамбет» за период 1980-2017 гг. Первое, что можно выделить в качестве общей черты – незначительный положительный тренд температуры приземного воздуха для января, июля и средней годовой температуры. Так, средняя годовая температура по данным МС «Махамбет» росла на  $0,4^{\circ}\text{C}/10$  лет. На рисунке 3 представлен временной ход средней годовой температуры приземного воздуха для МС «Махамбет».

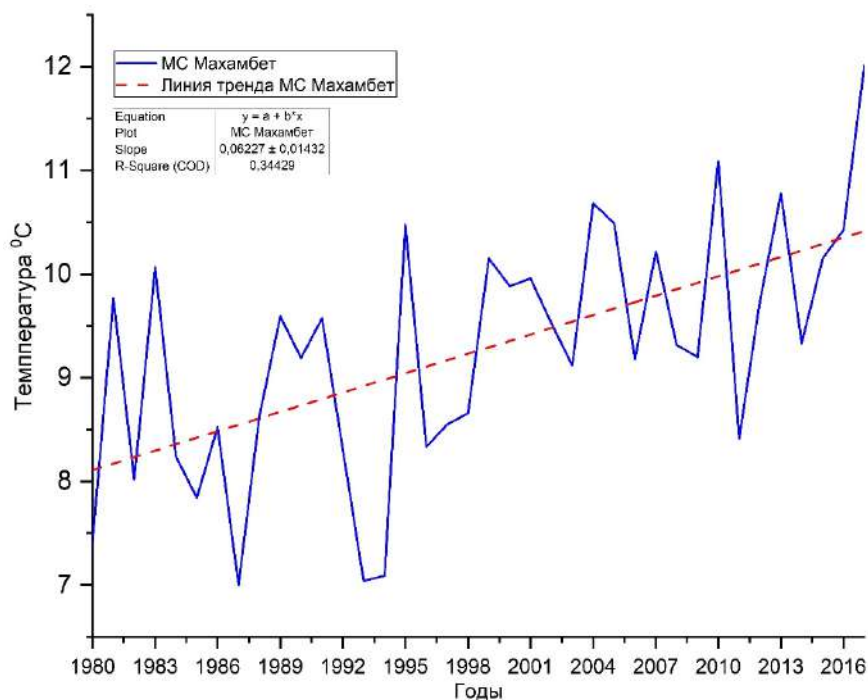


Рисунок 3 – Временной ход и линейный тренд средней годовой температуры приземного воздуха на МС «Махамбет»

Резюмируя вышесказанное, следует отметить, что в 1985, 1990, 1994, 2000 годах наблюдался anomalно высокий уровень среднегодо-

вого выпадения осадков, что способствовало повышению водности реки Жайык на территории Казахстана.

### Гидрологические особенности реки Жайык и прилегающей к дельте акватории Каспийского моря

Река Жайык трансграничная, течет по территории России и Казахстана. В ее бассейне находятся крупные промышленные центры: Магнитогорск, Новотроицк, Орск, Оренбург, Уральск, Атырау и Актобе [14, 15].

Длина реки составляет 2428 километров, из них в пределах Республики Казахстан ее протяженность равна 1084 км. Площадь водосбора 220 тыс. км<sup>2</sup>. Коэффициент извилистости – 2,38. Падение уровня реки Жайык (Урал) не особенно велико: от верховьев до Орска он имеет около 0,9 метра на 1 километр, от Орска до Уральска – не более 30 сантиметров на 1 километр, ниже – ещё меньше [16].

Ширина русла реки незначительна, но разнообразна. Дно Урала, в верховьях каменистое, в большей же части течения его – глинистое и песчаное, а в пределах Западно-Казахстанской области имеются каменные гряды. Жайык, при малом падении воды, на всём протяжении очень часто меняет главное русло, прорывает себе новые ходы, оставляя по всем направлениям глубокие водоёмы. Весною притоки несут в Жайык массу талой воды, река переполняется, выходит из берегов, в тех же местах, где берега отлоги, река разливается на 3-7 км. Весь поверхностный сток реки формируется в России, ниже Уральска река не принимает ни одного притока, теряя на пути к Каспию около 20% своего суммарного стока [17].

*Гидрография дельты р. Жайык.* Гидрографическая сеть проектной территории развита слабо и представлена в основном малыми протоками как Бугылозек, Баксай, по которым весной часть воды р. Жайык питает северо-западную часть прикаспийского низменности. Проток Бугылозек ответвляется от р. Жайык чуть выше гидрологического поста Махамбет и является самым длинным (190 км), но слабо развитым. Пройдя через сложный рельеф бугристых песков, он дает началу Жанбайского канала в районе поселка Аккыстау. Проток Баксай берет свое начало у поселка Жалгансай и в период весеннего половодья в нижнем течении превращается в мощный поток, разливающийся на многие километры и частично сбрасывающий свои воды по системе каналов, пересыхающих летом. В 50-х годах прошлого столетия в прибрежной зоне Каспия в целях развития орошаемого земледелия была прорыта сеть ирригационных каналов. В настоящее вре-

мя, из-за периодических колебаний уровня моря частично сохранились каналы Баксай, Туманный и Каракамыс (рисунок 4 – а).

Гидрографическая сеть дельты Жайыка состоит из двух основных рукавов: Золотого и Яицкого. Продолжением рукава Золотого на устьевом взморье служит Урало-Каспийский канал, а Яицкого – искусственно прорытый в 60-х годах канал-рыбоход. У восточного берега полуострова Пешной располагается Золотинский култук. Средний уклон дна взморья – 5 см на километр. Современная дельта начинается от места отклонения от русла небольшого протока Перетаски и далее тянется на юг – юго-запад почти на 40 км. По судоходному рукаву Золотой проходит речная часть Урало-Каспийского канала, которая далее на протяжении 16 км на устьевом взморье переходит в морскую часть канала с глубинами до 1,8 м. Этот канал соединяет устье Жайыка с Уральской бороздиной – самой глубокой областью восточной части Северного Каспия. Уральская бороздина является продолжением подводного русла Жайыка и была выработана рекою при более низком стоянии уровня моря. В последние годы отмечался процесс отмирания целого ряда водотоков, особенно левобережных (Перетаска, Бухарка, Зарослый, Золотенок). В связи с этим в восточную прибрежную зону устьевое взморье полностью прекратился сток воды, наносов, минеральных и органических веществ. Наблюдается интенсивное заиление Урало-Каспийского канала и баровых участков рукавов (рисунок 4 – б).

*Гидрологический режим.* В верховьях река Жайык (Урал) замерзает обычно в начале ноября. В среднем и нижнем течении ледостав начинается в конце ноября. Вскрывается Жайык ото льда в верхнем течении в начале апреля, в нижнем течении – в конце марта. Ледоход на Жайыке непродолжителен. Во время ледохода обычны заторы. Питание реки Жайык (Урал) и ее притоков преимущественно снеговое. На долю снежного покрова приходится более 80 % годового стока реки Жайык. Питание происходит почти исключительно в период таяния снегов весной. Дождевое питание составляет незначительную долю. Относительно высокие температуры воздуха и значительный дефицит влажности обуславливают значительные потери влаги на испарение.

В низовьях весеннее половодье наблюдается с конца марта до начала апреля, в верховьях – с конца апреля до июня. В верхнем течении Жайыка летом и осенью могут быть небольшие паводки, в остальную часть года – устойчивая

межень. В половодье в среднем течении Жайык разливается более чем на 10 километров, а в дельте до нескольких десятков километров. Наивысшие уровни воды в верхнем течении отмечены в конце апреля, в нижнем течении – в на-

чале мая. Одной из основных особенностей реки является значительная неравномерность стока. 80 % стока проходит весной. Средний расход воды, зафиксированный у Оренбурга – 104 м<sup>3</sup>/сек, у села Кушум – 400 м<sup>3</sup>/сек.

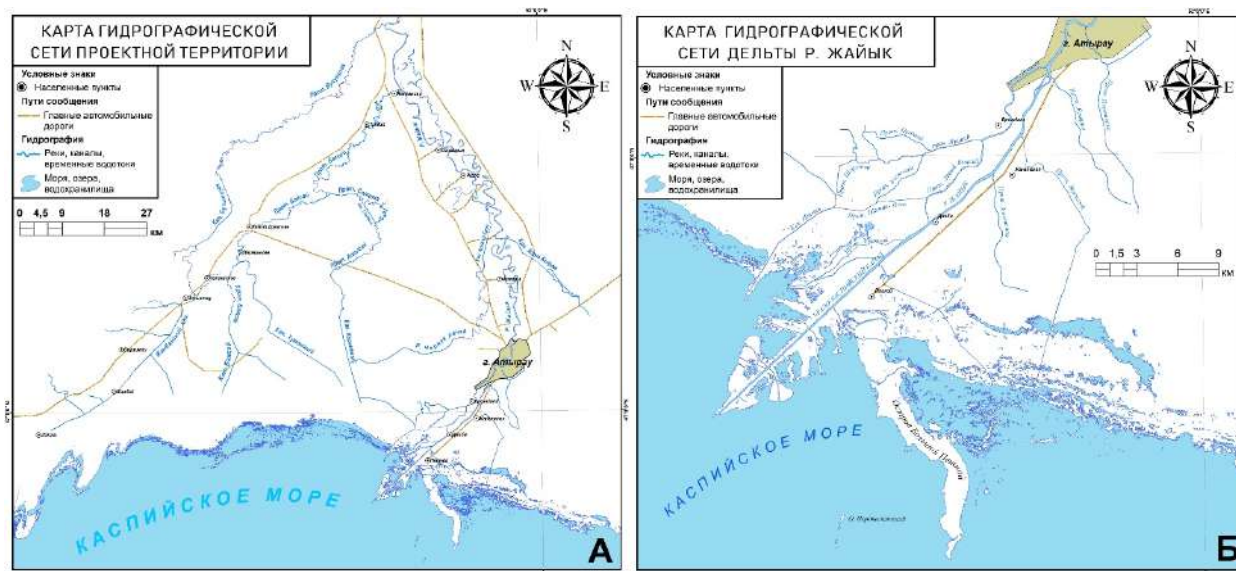


Рисунок 4 – Карта гидрографической сети проектной территории (карта составлена на основе данных космических аппаратов: Sentinel 2 и обозначении топографической карты масштаба 1:100 000)

Долина реки Жайык по обоим берегам сильно изрезана старицами, узкими и расширенными протоками, большими и маленькими озёрами. Во время разливов, происходящих весной от таяния снегов на Уральских горах, все эти водоемы наполняются водой, которая может держаться иногда до следующего года. Ширина русла Жайыка увеличивается от нескольких метров в верхнем течении до двухсот и более метров в нижнем течении.

*Оценка нормы стока.* В итоге проведенного анализа многолетнего хода годового стока по основным рекам Казахстана в целом подтверждаются выводы климатологов о новой фазе климата с середины 70-х годов [18, 19]. Период, характеризующий современную фазу климата и стока; по большинству водно-хозяйственных бассейнов (ВХБ) РК, это 1974-2007 гг. Период, значительная часть которого характеризуется условно-естественным стоком (в основном это период до 1974 г.).

Норма стока за последний период в бассейнах Жайык-Каспийского ВХБ сократилась примерно на 10% (хотя сток правобережья р. Жайык, напротив, увеличился). Современное

состояние водных ресурсов по ВХБ Жайык-Каспийский: общий среднегодовой сток – 10,5 км<sup>3</sup>; в том числе трансграничный сток из РФ – 8,3; местный сток – 2,2 км<sup>3</sup>; доля стока из РФ – 79% [20]. Отсюда понятна роль подготовки долгосрочной договоренности между РФ и РК по вододелиению гидроресурсов реки Жайык.

Суммарный экологический спрос природно-хозяйственных систем республики на водные ресурсы установлен в объеме 70,3% от суммарных ресурсов поверхностных вод Казахстана. 64,2 км<sup>3</sup>/год, включающий потребности природных объектов, обязательные в том числе трансграничные попуски, а также непроизводительные потери как ограничение производственного использования водных ресурсов. Нормативы экологического спроса на воду устанавливаются политическим решением исходя из необходимости сбалансирования экологических, социальных и экономических целей развития страны. Прогноз удовлетворенности экологического спроса на воду оценивается как кризисную на 2020 г. по ВХБ Жайык-Каспийский и как катастрофическую, наихудшую в Казахстане, в 2030 году [21].

Кроме естественных факторов, определяющих изменчивость речного стока в пределах трансграничного бассейна реки Жайык, большое значение имеет интенсивная антропогенная деятельность (водозабор, регулирование стока, лиманное орошение и другие). Актуальность данной проблемы проявилась в последние годы, когда период интенсивного хозяйственного использования ресурсов речного бассейна совпал с маловодным циклом [22, 23]. Положение усугубляется еще и тем, что Западно-Казахстанская и Атырауская области Республики Казахстан, не имеющие альтернативных источников водоснабжения, находятся в прямой зависимости от использования стока Жайыка в сопредельных областях Российской Федерации

По особенностям водного режима Жайык, как уже упоминалось выше, относится к рекам с резко выраженным преобладанием стока в весенний период. Основное питание река получает за счет таяния снега, в остальные сезоны года ее питают грунтовые воды, в меньшей степени осадки. Наблюдаются многолетние, сезонные и сгонно-нагонные (для нижнего течения) колебания уровня воды. Половодье реки несколько растянуто в результате разновременного поступления талых вод из различных частей бассейна. Форма гидрографа асимметрична, наблюдается резкий подъем половодья и замедленный его спад. В период весеннего половодья уровни воды высокие. В летнюю межень они низкие, с редкими повышениями за счет дождевых паводков. Естественный ход уровня нарушается в период льдообразования, появления местных зажоров, а в нижнем течении – в результате сгонно-нагонных явлений. Наибольший уровень воды наблюдается обычно во второй половине апреля или в мае, реже – в июне, наименьший – в декабре – марте.

Для анализа динамики гидрологического режима реки Жайык (за период 1977-2016 гг.) были использованы данные гидропостов Кушум (50°52'6.97» С.Ш., 51°7'58.95» В.Д.), который расположен в зеленовском районе Западно-Казахстанской области и является самой дальним пунктом наблюдения за гидрологическим режимом среднего течения р Жайык. Второй гидропост Махамбет (47°40'18.15» С.Ш., 51°34'47.89» В.Д.) является наиболее благоприятным пунктом для оценки режима, так как имеет наибольший период и состав наблюдений при естественном ходе уровней. Расположенный ниже пост в г. Атырау не имеет достаточно длинного ряда лет наблюдений за гидрологическими характеристиками, особенно стоком

воды. Уровненный режим в этом районе нарушен сгонно-нагонными колебаниями со стороны Каспийского моря.

Согласно многолетним данным гидропостов Кушум и Махамбет за последние 40 лет, можно выделить несколько периодов уменьшения и повышения водности, повлиявших на дальнейшую трансформацию биоценозов дельты реки Жайык.

За 1977-2016 гг. средний годовой сток р. Жайык в среднем течении составил 8,91 км<sup>3</sup>/год и изменялся от 2,9 км<sup>3</sup> (1977 г.) до 17,55 км<sup>3</sup> в (1993 г.), тогда в нижнем течении на створе гидропоста Махамбет средний годовой сток составлял в среднем 7,92 км<sup>3</sup> и варьировал от 2,53 км<sup>3</sup> до 15,06 км<sup>3</sup> в аналогичных годах (рисунки 5).

Заметная разница среднегодовой потери стока реки наблюдается в основном в многоводные годы, например, в 1990-1994 гг. при среднем расходе 414 м<sup>3</sup>/сек потери стока между гидропостами Кушум и Махамбет составляли 20 % от общего стока – 1,87 км<sup>3</sup>. Это объясняется заливанием поймы, повышенной фильтрацией, а также уровнем хозяйственной деятельности. По данным О.К. Тленбекова, в середине 60-х годов ежегодный забор воды из р. Жайык достигал 0,15 км<sup>3</sup>/год, а общие потери стока на участке с. Махамбет – г. Атырау составляли 0,8 км<sup>3</sup>/год. На том же отрезке участка в маловодные годы (1995-2016 гг.) потери стока не превышали 0,85 км<sup>3</sup>, при этом среднегодовая водность составила 229 м<sup>3</sup>/сек в с. Кушум и 199 м<sup>3</sup>/сек в створе Махамбета. В рассмотренных рядах гидрологической режима р. Жайык доминирует среднее водные годы (1978 – 1989 гг. и 1995 – 2005 гг.) со средним расходом воды 255 и 285 м<sup>3</sup>/сек соответственно. В средневодные годы показатели максимального среднегодового расхода воды достигали 388 м<sup>3</sup>/сек в 1987 г. и 412 м<sup>3</sup>/сек в 2000 г., превысив показатели маловодных (1995-2016 гг.) на 15% и уступая на 37 % показателям многоводных (1990-1994 гг.).

В годовом стоке р. Жайык, по многолетним данным за период 1977 – 2016 гг., можно выделить трехмесячное весеннее половодье (апрель-июнь, со среднемесячным расходом 682 м<sup>3</sup>/сек – Кушум; 545 м<sup>3</sup>/сек – Махамбет и 420 м<sup>3</sup>/сек – Атырау), четырехмесячный летне-осенний межень (июль – октябрь, со среднемесячным расходом 151 м<sup>3</sup>/сек – Кушум; 142 м<sup>3</sup>/сек – Махамбет и 143 м<sup>3</sup>/сек – Атырау) и зимний межень (со среднемесячным расходом 111 м<sup>3</sup>/сек – Кушум; 88 м<sup>3</sup>/сек – Махамбет и 118 м<sup>3</sup>/сек – Атырау) (рисунки 6).



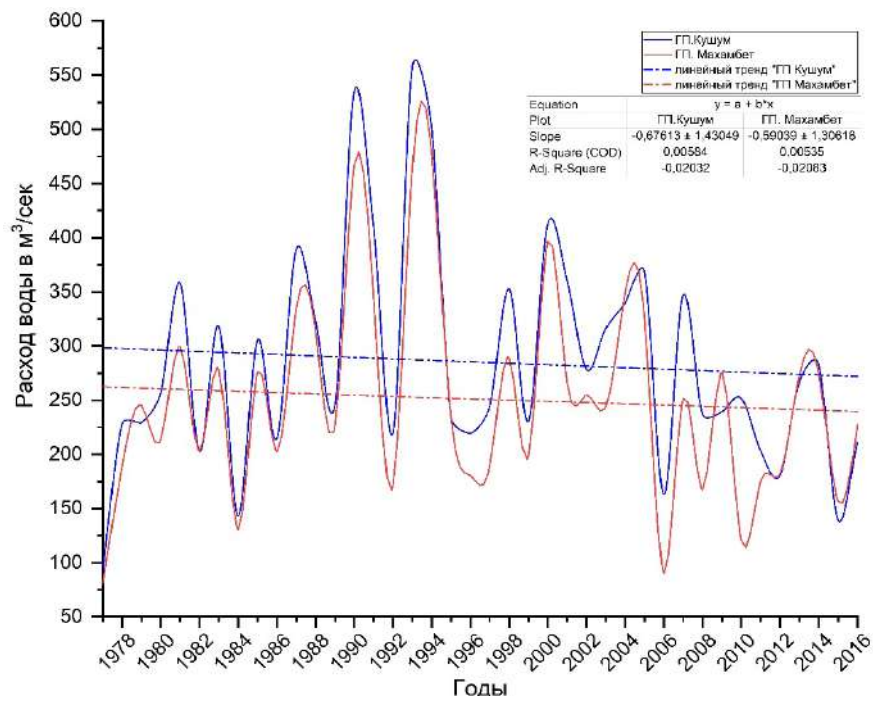


Рисунок 5 – Совмещенный график годового стока среднегодовой водности реки Жайык в створе Кушум и Махамбет (1977-2016 гг.)

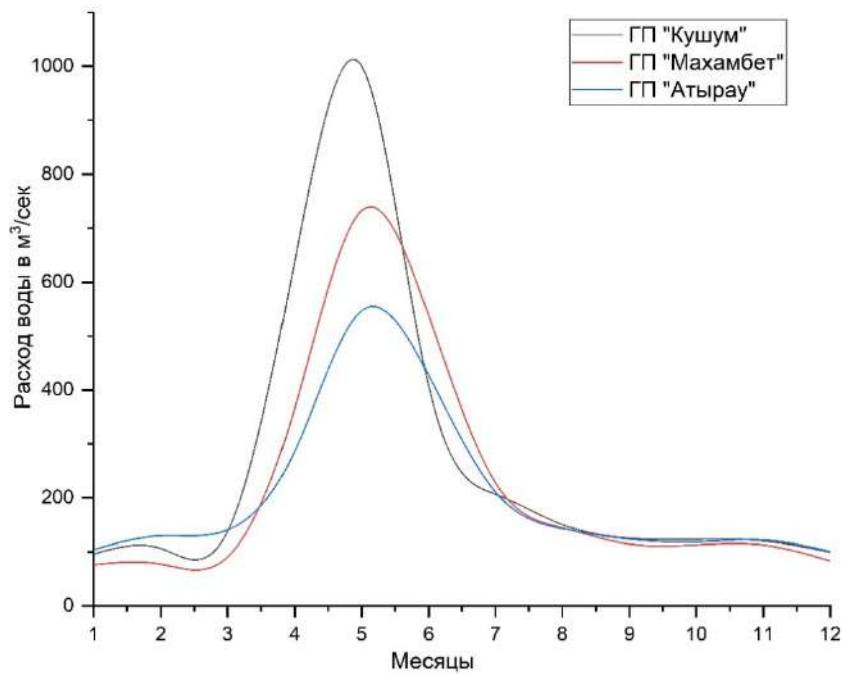


Рисунок 6 – Совмещенный график среднемесячных расходов воды в трех рассмотренных гидропостах (Кушум, Махамбет, Атырау)

По многолетним данным, подъем половодья обычно начинается в конце марта – начале апреля и длится 3 месяца. В с. Кушум подъем уровня наблюдается на 10 дней позднее, чем у гидропоста Тополи. Продолжительность подъема половодья в среднем 40 дней, иногда – до 50 дней. При затяжной, холодной весне продолжительность подъема увеличивается. Пик половодья приходится на середину мая, в маловодные годы – на конец апреля, в многоводные годы прохождение пика может наблюдаться в конце мая.

Обычно суммарный сток половодья через гидропост Махамбет за период наблюдения составляет в среднем 80 % годового стока. Например, в 1994 году среднесуточные максимальные расходы воды во время половодья в с. Кушум изменялись от 200 до 540 м<sup>3</sup>/сек., в то время на уровне поста Махамбет колебались от 197 до 1080 м<sup>3</sup>/сек. Таким образом, вниз по реке максимальные расходы уменьшаются, что свидетельствует о значительной трансформации водности половодья, которые в среднем были равны 453 м<sup>3</sup>/сек.

В целом за 40 лет наблюдений, в гидрологическом режиме реки Жайык наблюдается слабый отрицательный тренд из-за резкого уменьшения водности, преимущественно за последние десять лет (2006 – 2016 гг.), что негативно отразилось на общем состоянии биоценозов дельты и экосистем примыкающего морского побережья.

### **Трансформации экосистем дельты реки Жайык, прилегающего побережья и акватории Каспийского моря за период 1977-2018 гг.**

Ввиду мелководности Северного Каспия, периодические сгонно-нагонные колебания уровня моря анемобарического происхождения и изменения водности р. Жайык оказывают существенное влияние на состояние биоценозов как самой речной дельты, так и прилегающего морского побережья. Периодические затопления широкой полосы северного побережья Каспия и нижней части дельты Жайыка в результате сгонно-нагонных явлений, когда за несколько часов уровень моря может измениться на 1,5–2,5 м, а также неустойчивая динамика уровня моря за последние 40 лет, вызвали серьезную трансформацию почвенно-растительного покрова на соответствующей территории, в частности, в гидроморфных и аквальных экосистемах. Особенно опасными являются нагоны в мелководных районах моря с низкой береговой линией, где они затапливают значительную территорию, что приводит к засоле-

нию почв и уничтожению коренных растительных сообществ.

Статистика сгонно-нагонных явлений в Северо-Восточном Каспии (по данным МС «Пешной») показывает, что в среднем в месяц происходит 3-5 нагонов и 5-6 сгонов воды различной интенсивности. Наибольшая частота и высота нагонов в северо-восточной части моря отмечаются обычно весной и осенью. Подъем уровня моря до 1 м возникает при скорости ветра 10 – 15 м/с и продолжительности от 10 – 2 ч до 1 – 2 суток, а при сильных ветрах со скоростью 15 – 25 м/с высота нагона может достигать 1,0 – 1,5 м и более, что сопровождается затоплением значительной площади побережья (рисунок 7).

Напротив, при сильных сгонных ветрах вдоль северного и восточного берегов Северного Каспия формируется зона осушки шириной 10-15 км. Обсыхают также значительные территории, примыкающие к устью реки Жайык, вызывая засоление почв с последующей трансформацией луговых экосистем в солончаки и соры. Поэтому регулярный мониторинг сгонно-нагонных явлений в Северном Каспии и своевременное их прогнозирование имеет важное значение для разработки мер по сохранению экосистем прибрежной зоны.

При разработке программы долговременного мониторинга и выявления тенденций трансформации биоценозов прибрежной зоны и дельты р. Жайык нами широко использовались методы ДДЗ и вся доступная база данных космических снимков Landsat LMM/LT/ETM+/OLI и Sentinel 2 периода с 1977 по 2018 гг. Был проведен анализ изменений береговой линии, динамика затопления и осушки побережья, площадные соотношения гидроморфных и аквальных экосистем.

1977 г. Анализ спутниковых снимков с 1975 по 1977 гг. подтвердил наибольший спад уровня моря и водности реки Урал именно в данный период. Продолжительное падение уровня моря на 64 см. за четырнадцать лет (1964-1977 гг.) и уменьшение водности реки Жайык до 123 м<sup>3</sup>/с вызвали негативную трансформацию прибрежных биоценозов и опустынивание гидроморфных экосистем дельты. Характерная сложная морфология береговой линии проектной территории к 1977 году обрела сглаженный окончательно сформировавшийся вид. Это объясняется тем, что снижение уровня моря до отметки -29,02 м обусловило осушение и последующую деградацию култучных тростниковых зарослей и других водных макрофитов, ранее широко представленных на глубинах до 1 м. В прибреж-

ной зоне култучные заросли тростника имеют вид узких полос общей площадью около 141 км<sup>2</sup>. Заметное обсыхание гидроморфных экосистем дельты регистрируется даже в районе Урало-Каспийского канала. Полностью исчезли протоки Узенький, Правый и частично Шаманозек. В

средней пойме канала Шаман и межречных равнинах Золотой и Широкий наблюдается завершающая стадия обсыхания и засоления луговых почв. Общая площадь речных и морских аквальных экосистем составила 1614 км<sup>2</sup>, зпримерно 34% всего региона исследования (рисунок 8).

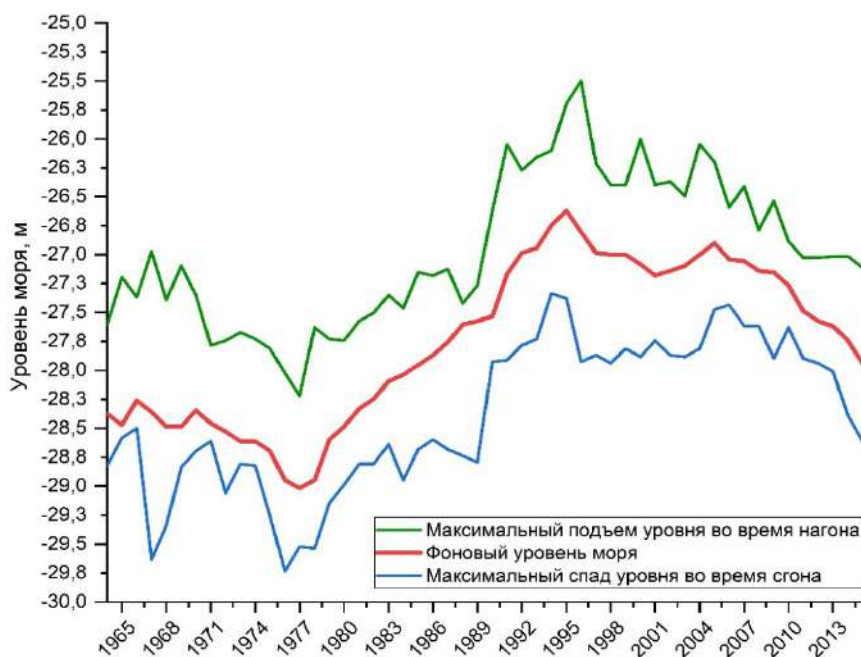


Рисунок 7 – Амплитуда колебаний уровня Каспийского моря во время сгонно-нагонных явлений

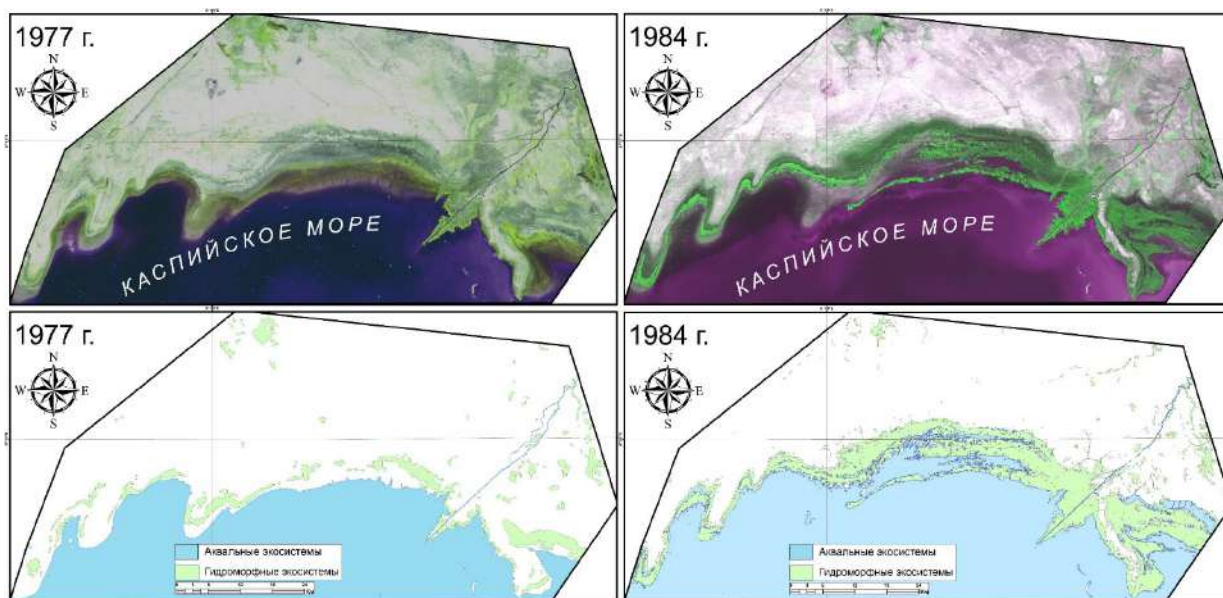


Рисунок 8 – Тематическая ГИС карта изменения аквальных и гидроморфных экосистем дельты р. Жайык и прибрежных зон Северного Каспия за 1977-1984 гг.

1984 г. По сравнению с предыдущим десятилетием, за 7 лет (с 1977 по 1984 гг.) уровень моря поднялся почти на метр (98 см). Это вызывало ряд положительных изменений в дельте, а также в целом в прибрежной зоне. Начались процессы восстановления култучных и прибрежных водных макрофитов, общая площадь которых составила 298 км<sup>2</sup>. Бурное развитие макрофитов наблюдалось и в дельте, особенно в районе Урало-Каспийского канала. Повышение среднегодовой водности реки Жайык до 222,1 м<sup>3</sup>/сек (по данным гидропоста Махамбет) обусловило повышение степени увлажнения почв в поймах протоков Шаманозек и Золотой. Кроме того, полностью восстановилась правая часть дельты р. Жайык, высохшая в 1970 гг. Ее питание обеспечивалось протоками Перетаска, Бухарка и Заросли. В поймах протока Узенький, соединяющего пр. Широкий с Шаманозеком, заметных изменений не наблюдалось. При общей площади аквальных экосистем 2015 км<sup>2</sup> береговая линия была сдвинута в среднем на 8 км к северу, преимущественно в восточных регионах побережья, ближе к дельте р. Жайык. Общая площадь затопленных районов составила в западной части 348 км<sup>2</sup>, а в восточной – 62 км<sup>2</sup> (рисунок 8).

1990 г. С продолжением подъема уровня моря и роста водности реки Жайык увеличивалась площадь затопляемых районов и гидроморфных экосистем. С подъемом уровня моря на 76 см и увеличением водности Жайыка на 466 м<sup>3</sup>/сек начинаются многоводные годы. По всей территории дельты и прибрежных зон образовались множественные мелководные култучные озера с обильными тростниковыми зарослями. Береговая линия западной прибрежной зоны по сравнению с 1984 годом сдвинулась по суше еще на 7 км, увеличив площадь обводнения до 559 км<sup>2</sup>. В результате затопления верхний край дельты сдвинулся в среднем на 4 км вверх по течению и увеличился в размере на 241 км<sup>2</sup>. Особо следует подчеркнуть затопление входящих в состав резервата Акжайык урочищ Атаманский и Каменский Култук, с их средней высотой -26 – -27 метров. Общая площадь затопленной территории в данном районе составила 98 км<sup>2</sup>. Заросли погруженного тростника в прибрежных водах на глубинах 0,5 – 1,5 метра окончательно отделились от современной береговой линии. Общая площадь гидроморфных биоценозов, представленных преимущественно зарослями тростника, составила 574 км<sup>2</sup> (рисунок 9).

1994 г. Со среднегодовым расходом Жайыка в 477 м<sup>3</sup>/сек 1994 год стал самым многово-

дным за последние 40 лет. Уровень моря также вырос на 42 см и достиг самой высокой отметки – 26,75 м. Подобное аномальное повышение водности (со средним расходом 470 м<sup>3</sup>/сек) наблюдалось в 1946 – 1950 гг. Это увеличение водности Жайыка и уровня моря отодвинули береговую линию в среднем еще на 5 км, захватив участки суши на высотах до 26 м. При общей площади 3357 км<sup>2</sup> аквальные экосистемы составили 68 % всего региона обследования. Площадь затопления прибрежных регионов в 1994 г. достигла своего пика и увеличилась по сравнению с 1990 г. еще на 477 км<sup>2</sup>. В дельте прослеживается аналогичная картина, что особенно заметно по Урало-Каспийскому каналу, который в 1990 году был окаймлен тростниковыми зарослями и наносами. Значительному затоплению подверглись верховья дельты, вплоть до построенной в 40-х годах прошлого столетия дамбы. Продолжилось затопление низменности урочищ Атаманский и Каменский Култук, которые по площади увеличились с 98 км<sup>2</sup> до 128 км<sup>2</sup>. Помимо прибрежных экосистем были также затоплены заброшенные старопашотные земли, орошаемые каналом Баксай. Что касается полупогруженных тростниковых зарослей, то их площадь, напротив, сократилась на 200 км<sup>2</sup> по сравнению с 1990 годом, составив 378 км<sup>2</sup>. Это объясняется затоплением из-за повышения уровня моря на 2,27 метров за последние 17 лет. Обводнение обширных территорий аридных экосистем привело к трансформации автоморфных экосистем к полугидроморфные и гидроморфные (рисунок 9).

2014 г. За последние 20 лет, после аномального многоводья в прибрежной акватории и дельте реки Жайык, произошла негативная трансформация экосистем, связанная с резким уменьшением водности реки Жайык и падением уровня Каспия. Уровень моря упал на один метр с отметки -26,75 м. на -27,74 м. Среднегодовой сток р. Жайык снизился на 1,9 км<sup>3</sup>. Это вызвало отступление береговой линии в сторону моря почти на 10 км, зона осушки составила при этом почти 600 км<sup>2</sup>. На осушенной территории годами происходило засоление почв, площадь которых в 2014 году составила 280 км<sup>2</sup>.

В верховьях дельты повторно проявляются признаки опустынивания и засоления, особенно в западной части канала Шаман. Полностью высохли затопленные в многоводные годы низменности урочищ Атаманский и Каменский Култук. Процесс засоления начинается на верхних участках, некогда заливаемых протокой Черная речка.

Наблюдается четкая верхняя граница дельты, обусловленная сгонно-нагонными колебаниями моря. В результате заиливания и зарастания

тростниками русел мелких протоков Узенький, Золотая, Шаманозек снизились их пропускная способность (рисунок 10).

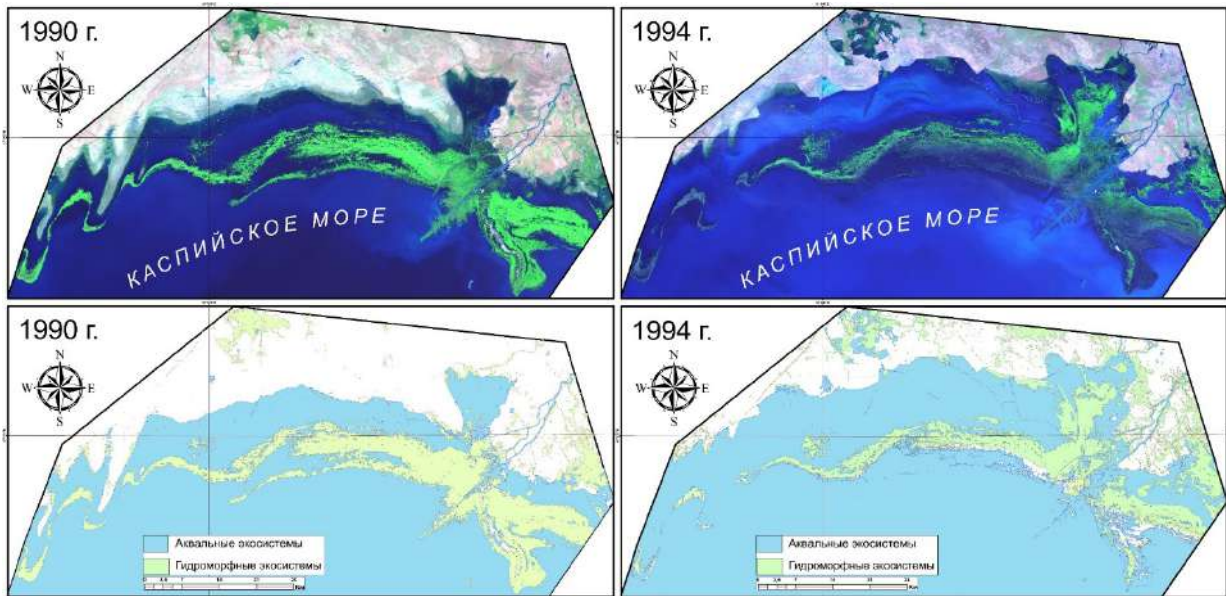


Рисунок 9 – Тематическая ГИС карта изменения аквальных и гидроморфных экосистем дельты р. Жайык и прибрежных зон Северного Каспия за 1990 – 1994 гг.

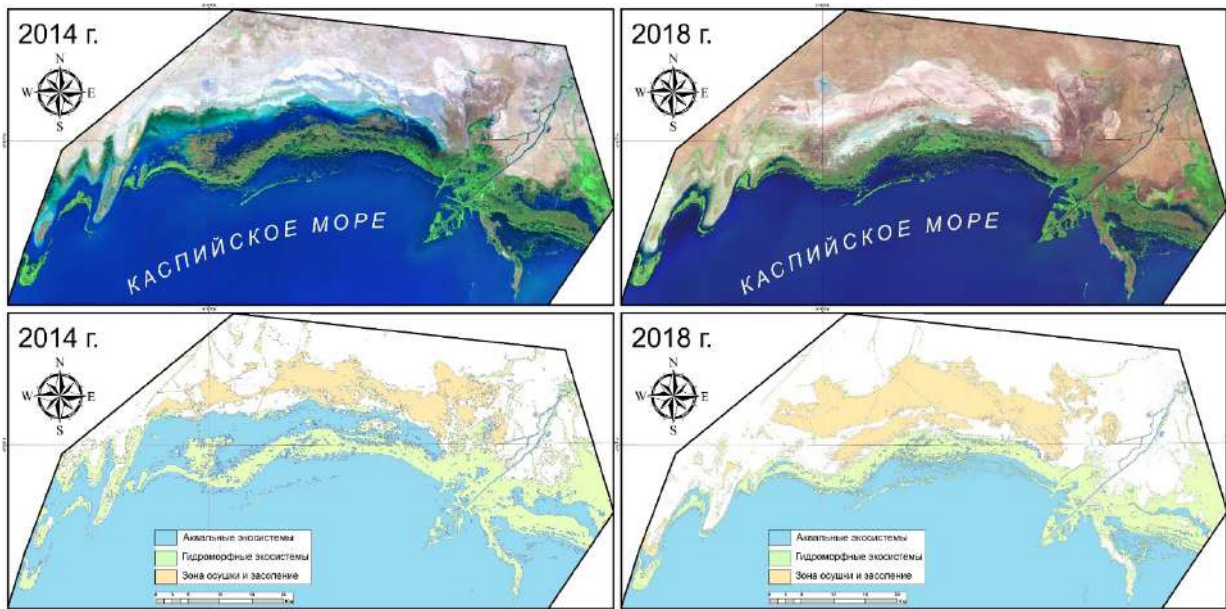


Рисунок 10 – Тематическая ГИС карта изменения аквальных и гидроморфных экосистем дельты р. Жайык и прибрежных зон Северного Каспия за 2014-2018 гг.

2018 г. Особенное внимание было уделено современному состоянию проектной территории в условиях нарастающих экологических рисков

и угроз. Наиболее актуальным является продолжающееся уменьшение водности реки Жайык и падение уровня Каспия. Анализ космоснимков

показал, что в настоящее время картина и локализация береговой линии идентичны таковым 1984 года, что может указывать на примерно одинаковый уровень моря. Уменьшение общей площади аквальных экосистем на 15% по сравнению с 2014 г. привело к отступлению береговой линии в среднем на 9 км и осушению около 385 км<sup>2</sup> прибрежных зон и 68 км<sup>2</sup> в устьевой области и по периферии дельты. Также наблюдается уменьшение общей площади гидроморфных экосистем до 460 км<sup>2</sup>. Не имеющие в 2014 году прямой связи с береговой линией култучные тростниковые заросли в 2018 году, как и в 1984 г., были выявлены преимущественно вдоль береговой линии. Из-за низкой водности в дельте реки Жайык сохранились только крупные протоки: левый и правый Яицкий, проток Широкий и Шаманский канал. А более мелкие, такие как Узенький, Шаман-Озек и Золотая, остаются активными лишь в весенние месяцы во время половодья. Хорошо заметны признаки обсыхания и засоления по всей территории верховьев дельты и их распространение вдоль рукава Золотого и по центральной части полуострова Пешного. В правой части дельты также идут процессы засоления ранее затопленных орошаемых земель, в некоторых местах еще сохранилась гидроморфная растительность из-за сезонной активности протоков Перетаска и Бухарка (рисунок 10).

**Выводы.** Ретроспективный комический мониторинг дельты реки Жайык, прилегающего побережья и акватории Каспийского моря за период 1977-2018 гг. дал возможность оценить трансформацию аквальных, гидроморфных и полугидроморфных экосистем в результате колебаний водности Жайыка, падения уровня и нагонно-сгонных явлений на Каспийском море. Общей тенденцией изменений является увеличение площадей затопляемой территории, а также зоны засоления суши как результат нагонно-сгонных явлений.

## Выводы

1. Существующее видовое и ценотическое разнообразие Государственного природного резервата «Акжайык», внесенного в список ЮНЕСКО, и прилегающей к нему территории прежде всего зависят от гидрологического и гидрохимического состояния трансграничной реки Жайык (Урал) и процессов, происходящих в результате воздействия природных и антропогенных факторов на Каспийское море и тесно взаимосвязанных с процессами изменения климата, хозяй-

ственно-экономической деятельностью, а также браконьерством в бассейне реки Жайык (Урал) в РФ и РК.

Анализ метеоданных по двум МС проектной территории за период 1980-2017 гг. показал выраженный тренд повышения среднегодовой температуры воздуха, особенно с 1980 по 2003 гг., когда довольно устойчиво каждые 10 лет происходило потепление на 1,3<sup>0</sup>С. А примерно с 2004 года стали появляться аномально холодные и теплые года. Но в целом, за отмеченный период среднегодовая температура в регионе выросла значительно, на 5<sup>0</sup>С. Среднегодовое количество осадков за рассматриваемый период составило 173 мм.

Изучение динамики гидрологического режима реки Жайык за период 1977-2016 гг. по данным гидропостов Махамбет и Кушум показало, что происходит пусть незначительное, но с достаточно устойчивым трендом, снижение среднегодовой водности реки. Учитывая тенденцию глобального потепления климата и повсеместный рост потребления воды в РФ и в РК, интенсивно развивающийся в регионе нефтегазовый комплекс, в недалеком будущем вероятно катастрофическая ситуация с водоснабжением в Жайык-Каспийском ВХБ. Сохраняется загрязнение реки Урал и Каспийского моря во всех прикаспийских государствах. Это представляет реальную угрозу для экосистем заповедной территории «Акжайыка». Также неблагоприятным фактором остается прогнозируемое снижение уровня Каспийского моря до -25,0 – 25,5 м. к 2020 – 2030 гг.

Созданные на основе комплексного использования полевых, лабораторных методов и методов -ДЗЗ и ГИС-технологий тематические ГИС-карты экологического зонирования территории в западной части дельты реки Жайык, отражающие площадные соотношения основных типов биогеоценозов, включая наиболее значимые, с точки зрения сохранения биологического разнообразия, аквальные, в различные по водности годы, могут служить основой системы мониторинга за состоянием основных экосистем проектной территории.

## Сокращения и обозначения

ГПР – Государственный природный резерват; ГИС – Геоинформационная система (англ. Geographic Information Systems); ДЗЗ – Дистанционное зондирование Земли; МС – Метеостанция; ГП – Гидрологический пост.

## Литература

- Tulemisova G., Abdinov R., Kabdrakhimova G., Janetov T. Ecological state of the river Ural. *Chemical Bulletin of Kazakh National University*. – 2017. – Vol. 2. – P. 18-24.
- Resources of surface and underground water, their use and quality // *State water inventory* –L., SPb., – M., 1981 – 2014 p.
- Anthony A.J., Alsharhan, A.S., et al. Integrated water resources management is more a political than a technical challenge. In *Developments in Water Science*. ed., Elsevier, 2003. – P. 9-23.
- Vylegianin A. N. Basic Legal Issues of the Management of Natural Resources of the Caspian Sea, in W. Ascher and N. Mirovitskaya (eds), *The Caspian Sea: A Quest for Environmental Security*. – Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 2000. – P. 165
- Полонский В.Ф., Михайлов В.Н., Кравцова В.И., Остроумова Л.П., Исупова М.В. Современные гидролого-морфологические процессы в устьевой области Урала // *Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления*. – М., 2013. – С. 448 – 482.
- Dumenil L., Isele K., Liebscher H.-J., Schroeder U., Schumacher M., Wilke K. Discharge data from 50 selected rivers for GCM validation. Rep. 100, Max Planck Institute and Global Runoff Data Centre, Hamburg, Germany, 1993. – 61 p.
- Alferov I.N., Yakovenko N.V. Water use in a river basin the Urals: current state and geoenvironmental problems // *Bulletin of the Orenburg scientific center OurO RAHN*. – 2015. – No. 2. – P. 1–8.
- Ященко Р.В. Заповедники Средней Азии и Казахстана // *Материалы проекта МСОП «Оценка эффективности управления заповедниками Средней Азии и Казахстана»*, под руководством Р.В. Ященко. Вып. 1. – Алматы: Тетис, 2006. – Вып. 1. – 352 с.
- Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. – М.: Агроконсалт, 2002. – 280 с.
- Варенников В.М., Губин Е.И., Котляров В.Н., Тажмагамбетов Т.К. и др. Инструкция по проведению крупномасштабных (1:1000 – 1:100000) геоботанических изысканий природных кормовых угодий Республики Казахстан. – Алматы, 1995. – С. 4-5.
- Туманян А.Ф. Агроэкологические и геоботанические аспекты деградации и повышения продуктивности фитоценозов в аридной зоне Прикаспия: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – Астрахань, 2005. – 380 с.
- Kanika K., Anil K.G., Rhythm G.A. Comparative Study of Supervised Image Classification Algorithms for Satellite Images // *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication*. – 2013. – Vol. 1, Issue 10. – P. 10-16.
- Cowardin L.M., Carter V., Golet F.C., La Roe E.T. Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States. Report № FWS/OBS/-79/31 // U.S. Fish and Wildlife Service. – Washington, DC, USA, 1979.
- Globally significant wetlands of Kazakhstan (Delta of Ural River and adjacent coast of the Caspian Sea). – Astana, 2007. – 264 p.
- Курмангалиев Р.М. Экологические проблемы трансграничного водотока реки Урал и пути решения / Р.М. Курмангалиев // *Ғылым және Білім*. – 2008. – № 3. – С. 91-97.
- Чибилёв А.А. Река Урал: историко-географические и экологические очерки о бассейне р. Урал (Реки и озёра нашей Родины). – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 168 с.
- Leroy S.A.G., Marret F., Gibert E., Chalie F., Reyss J.L., ‘Arpe, K. River inflow and salinity changes in the Caspian Sea during the last 5500 years, *Quaternary Sci. Rev.* – 2007. – Vol.26. – P. 3359–3383.
- Kroonenberg S.B., Badyukova E.N., Storms J.E.A., Ignatov E.I., Kasimov N.S. A full sea level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores, *Sediment. Geol.* – 2000. – Vol.134. – P. 257–274.
- National Geographic Atlas of the World (9th ed.). Washington, DC: National Geographic. 2011. ISBN 978-1-4262-0633-7. “Europe” (plate 59); “Asia” (plate 74): “A commonly accepted division between Asia and Europe ... is formed by the Ural Mountains, Ural River, Caspian Sea, Caucasus Mountains, and the Black Sea with its outlets, the Bosphorus and Dardanelles.”
- Абишев И.А., Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Водные ресурсы Казахстана и их использование., *Водные ресурсы Центральной Азии и их использование*. // *Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни»*. – Алматы, 2016. – Кн.1. – С. 9-18.
- Сивохип Ж.Т., Чибилёв А.А. Эколого-гидрологические проблемы трансграничного бассейна реки Урал и перспективы институционального сотрудничества // *География и природные ресурсы*. – 2014. – № 1. – С. 36-44.
- Ulomov V. I.: A three-dimensional model of the lithosphere dynamics, seismicity structure, and variations in the Caspian sea level, *Izvestiya Phys. Solid Earth*. – 2003. – Vol. 39. – P. 353–364.

## References

- Abishev I.A., Medeu A.R., Mal'kovskiy I.M., Toleubayeva L.S. (2016) Vodnyye resursy Kazakhstana i ikh ispol'zovaniye., *Vodnyye resursy Tsentral'noy Azii i ikh ispol'zovaniye* [Water resources of Kazakhstan and their use, Central Asian water resources and their use]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy podvedeniyu itogov ob'yavlennoy OON desyatiletiya «Voda dlya zhizni»*, Almaty, kn.1. – pp. 9-18.
- Alferov I.N., Yakovenko N.V. (2015) Water use in a river basin the Urals: current state and geoenvironmental problems. *Bulletin of the Orenburg scientific center OurO RAHN*., no. 2, pp. 1–8.
- Anthony, A.J., Alsharhan, A.S., et al. (2003). Integrated water resources management is more a political than a technical challenge. In *Developments in Water Science*. ed. Elsevier, 9-23 pp.

Cowardin L.M., Carter V., Golet F.C., La Roe E.T. (1979) Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States. Report № FWS.OBS.-79.31. U.S. Fish and Wildlife Service. – Washington, DC, USA, 1979.

Chibilov A.A. Reka Ural: istoriko-geograficheskiye i ekologicheskiye ocherki o bassejne r. Ural (Reki i ozora nashey Rodiny) [Ural River: Historical, Geographical and Environmental Essays on the Ural River Basin (Rivers and Lakes of our Motherland)], L.: Gidrometeoizdat, 1987, 168 p.

Dumenil L., K. Isele H.-J., Liebscher U., Schroöder M., Schumacher K. (1993). Discharge data from 50 selected rivers for GCM validation. Rep. 100, Max Planck Institute and Global Runoff Data Centre, Hamburg, Germany, 61 pp.

Ganzhara N.F., Borisov B.A., Baybekov R.F. (2002) Praktikum po pochvovedeniyu [Soil science workshop], M.: Agrokonsalt, 280 p.

Globally significant wetlands of Kazakhstan (Delta of Ural River and adjacent coast of the Caspian Sea), Astana, 2007, 264 p.

Kanika K., Anil K.G., Rhythm G.A. (2013) Comparative Study of Supervised Image Classification Algorithms for Satellite Images. International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication, vol. 1, no 10, pp. 10-16.

Kroonenberg S.B., Badyukova E.N., Storms J.E.A., Ignatov E.I., Kasimov N.S. (2000) A full sea level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores, Sediment. Geol., vol.134, pp.257–274.

Kurmangaliyev R.M. (2008) Ekologicheskiye problemy transgranichnogo vodotoka – reki Ural i puti resheniya [Environmental problems of transboundary watercourse of the Ural River and ways of solution] . R.M. Kurmangaliyev. Ğylym zhәне Bilim, no 3, pp. 91-97.

Leroy S.A.G., Marret F., Gibert E., Chalie F., Reyss J.L., Arpe K. (2007) River inflow and salinity changes in the Caspian Sea during the last 5500 years, Quaternary Sci. Rev., vol. 26, pp. 3359–3383.

National Geographic Atlas of the World (9th ed.). Washington, DC: National Geographic. 2011. ISBN 978-1-4262-0633-7. “Europe” (plate 59); “Asia” (plate 74): “A commonly accepted division between Asia and Europe ... is formed by the Ural Mountains, Ural River, Caspian Sea, Caucasus Mountains, and the Black Sea with its outlets, the Bosphorus and Dardanelles.”

Polonskiy V.F., Mikhaylov V.N., Kravtsova V.I., Ostroumova L.P., Isupova M.V. (2013) Sovremennyye gidrologo-morfologicheskiye protsessy v ust'yevoy oblasti Urala [Modern hydrologic and morphological processes in the Ural estuary region]. Ust'ya rek Kaspiyskogo regiona: istoriya formirovaniya, sovremennyye gidrologo-morfologicheskiye protsessy i opasnyye gidrologicheskiye yavleniya, M., pp. 448 – 482.

Resources of surface and underground water, their use and quality. State water inventory – L., SPb., M., 1981, 2014 p.

Sivokhip ZH.T., Chibilov A.A. (2014) Ekologo-gidrologicheskiye problemy transgranichnogo basseyna reki Ural i perspektivy institucional'nogo sotrudnichestva [Environmental and hydrological problems of the transboundary Ural River Basin and prospects for institutional cooperation]. Geografiya i prirodnyye resursy, no 1, pp. 36-44.

Tulemisova G., Abdinov R., Kabdrakhimova G., Janetov T. (2017) Ecological state of the river Ural. Chemical Bulletin of Kazakh National University, vol. 2, pp. 18-24.

Tumanyan A.F. (2005) Agroekologicheskiye i geobotanicheskiye aspekty degradatsii i povysheniya produktivnosti fitotsenozov v aridnoy zone Prikaspiya [Agroecological and geobotanical aspects of phytocenosis degradation and productivity increase in the arid zone of the Caspian Sea]: avtoref. dis. ... dokt. s.-kh. nauk. – Astrakhan', 380 p.

Ulomov, V. I. (2003) A three-dimensional model of the lithosphere dynamics, seismicity structure, and variations in the Caspian sea level. Izvestiya Phys. Solid Earth., vol. 39, pp. 353–364.

Varennikov V.M., Gubin Ye.I., Kotlyarov V.N., Tazhmagambetov T.K. et al. (1995) Instruksiya po provedeniyu krupnomasshtabnykh (1:1000 – 1:100000) geobotanicheskikh izyskaniy prirodnykh kormovykh ugodiy Respubliki Kazakhstan [Instruction on carrying out large-scale (1:1000 – 1:100000) geobotanical surveys of natural fodder lands of the Republic of Kazakhstan], Almaty, pp. 4-5.

Vylegjanin A. N. (2000) ‘Basic Legal Issues of the Management of Natural Resources of the Caspian Sea’, in W. Ascher and N. Mirovitskaya (eds), The Caspian Sea: A Quest for Environmental Security (Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers), p. 165.

Yashchenko R.V. (2006) Zapovedniki Sredney Azii i Kazakhstana [Reserves of Central Asia and Kazakhstan]. Materialy proyekta MSOP «Otsenka effektivnosti upravleniya zapovednikami Sredney Azii i Kazakhstana», pod rukovodstvom R.V. Yashchenko. Vyp. 1. Almaty: Tetis, 35 p.



2-бөлім  
**ҚОРШАҒАН ОРТА ЛАСТАУШЫЛАРЫНЫҢ  
БИОТАҒА 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 ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ**

**Lovinskaya A.V.<sup>1\*</sup>, Kolumbayeva S.Zh.<sup>1</sup>, Suvorova M.A.<sup>1</sup>,  
Ilyasova A.I.<sup>1</sup>, Abilev S.K.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institute of problems of Biology and Biotechnology,  
Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty  
<sup>2</sup>Vavilov Institute of General genetics of RAS, Moscow, Russia,  
\*e-mail: [annalovinska@rambler.ru](mailto:annalovinska@rambler.ru)

**TOXIC AND MUTAGENIC ACTIVITY  
OF THE SPRING WATERS OF ALMATY**

Spring waters, as natural discharges of groundwater to the surface, are an essential component of the natural environment. Spring water is considered by nature to be exceptionally pure, transparent, tasty, and balanced in its chemical composition, which makes it attractive to humans. However, the quality of spring water in urban areas has deteriorated significantly due to the high risk of chemical and bacterial contaminants entering groundwater. Therefore, studies were carried out of spring waters, actively consumed by the population of Almaty, for toxic and mutagenic activity. Spring 1 is located near the river Prohodnaya, bus stop number 28; spring 2 – on the road to the Big Almaty Lake, in front of the bridge over the river Ulken Almaty; spring 3 – near the river Batareika on the road to Kok-Zhailau; spring 4 – at the Prosveshchenets stop on the road to Medeu. The excess of MPC for lead in the water of springs 1, 3, and 4 has been established. Following the established MPC for heavy metals, water from spring 2 belongs to quality class 1 and is suitable for all types of water use; water from springs 1, 3 and 4 belongs to quality class 2. The waters of this water use' class are suitable for all categories of water use, except for domestic. A bioluminescent test revealed high toxicity of spring waters 1-3, which significantly reduced the bioluminescent response of RecA and ColD biosensors ( $p < 0.05$ ). In the Allium test, the water of all the springs have phytotoxic activity, water from springs 1 and 3 also have a genotoxic effect. In the chromosomal aberration assay in *H. vulgare*, it was found that the water of spring-3 had a mutagenic activity. There was a statistically significant increase in the frequency of chromosomal aberrations in barley seeds ( $p < 0.01$ ). The remaining studied waters also increased the frequency of aberrant cells compared with the control; however, the difference was not statistically significant. Besides, polyploid cells (more than 1.5%) were identified with high frequency in the root meristem of barley seeds germinated in water from springs 1 and 3. The research indicates the presence of mutagenic factors in the waters of these springs. A comparative analysis of the level of contamination of the studied springs with heavy metals, the level of toxic and mutagenic activity of water allows ranking the investigated water objects in the following order: spring 3 > spring 1 > spring 2 > spring 4.

**Key words:** spring water, toxicity, mutagenicity, biosensor strains, heavy metals.

Ловинская А.В.<sup>1\*</sup>, Колумбаева С.Ж.<sup>1</sup>, Суворова М.А.<sup>1</sup>,  
Илиясова А.И.<sup>1</sup>, Абилев С.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Биология және биотехнология  
проблемалары ғылыми-зерттеу институты, Қазақстан, Алматы қ.  
<sup>2</sup>Вавилов Жалпы генетика институты, Ресей, Мәскеу қ.,  
\*e-mail: [annalovinska@rambler.ru](mailto:annalovinska@rambler.ru)

**Алматы бұлақтарының уытты және мутагендік белсенділігі**

Бұлақтар, жер асты суларының табиғи ағындары ретінде, табиғи ортаның маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Табиғи бұлақтың суы таза, мөлдір, дәмді және химиялық құрамы жағынан үйлестірілген болып саналған соң, бұл оны адамдар үшін тартымды етеді. Алайда, қалалық жерлерде бұлақтардың суының сапасы химиялық және бактериялық ластаушы заттардың жер асты суларына түсу қаупі жоғары болғандықтан айтарлықтай нашарлады. Сондықтан осы зерттеуде Алматы қаласының тұрғындары пайдаланатын бұлақ суларының уытты және мутагендік белсенділігі анықталды. 1-ші бұлақ Проходная өзеннің жанында орналасқан, № 28 автобустың аядамасы; 2-ші бұлақ – Үлкен Алматы көліне барар жолында, Үлкен Алматы өзен үстіндегі көпірдің алдында; 3-ші бұлақ – Көкжайлауға барар жолында, Батарейка өзеннің жанында; 4-ші бұлақ Медеуге барар жолында, Просвещенец аядамасында. 1, 3 және 4 бұлақ суларында қорғасынның мөлшері ШРК көрсеткішінен асып кетті. Ауыр металдар үшін белгіленген

ШРК-ға сәйкес, 2-ші бұлақтың суы 1 сапа класына жатады және оның суы пайдаланудың барлық түрлеріне жарамды; 1, 3 және 4 бұлақ сулары 2 сапа класына жатады. Суды пайдалану бойынша осы кластағы сулар ішуге және ішуге арналған суды қоспағанда, суды пайдаланудың барлық санаттарына жарамды. Биолюминесценттік сынақ көмегімен 1-3 бұлақтардың су жоғары уыттылығы анықталды, осы бұлақтардың суы ResA және ColD биосенсорларының биолюминесценттік реакциясын статистикалық маңызды төмендеткен ( $p < 0.05$ ). А. сера сынағында барлық зерттелген бұлақтардағы судың фитотоксикалық белсенділігі, сондай-ақ 1 және 3-ші бұлақтардағы судың генотоксикалық әсері анықталды, *H. vulgare* сынағында 3-ші бұлақ суының мутагендік белсенділігі бар екендігі анықталды, осы суда өсірілген арпа тұқымдарының тамыр жасушаларында хромосомалық абберациялардың жиілігі статистикалық маңызды артты ( $p < 0.01$ ). Қалған зерттелген сулар бақылаумен салыстырғанда абберанттық жасушалардың жиілігін арттырды, алайда олардың айырмашылығы статистикалық маңызды емес. Сонымен қатар, полиплоидты жасушалар (1,5%-дан астам) 1 және 3-ші бұлақтардан суда өсетін арпа дәндерінің тамырлық меристемасында жоғары жиілікпен анықталды, бұл осы көздердің суларында мутагендік факторлардың болуын көрсетеді. Зерттелетін бұлақтардың ауыр металдармен ластану деңгейіне, судың уытты және мутагендік белсенділігінің деңгейіне салыстырмалы талдау зерттелетін су нысандарын келесі ретпен саралауға мүмкіндік береді: 3-ші бұлақ > 1-ші бұлақ > 2-ші бұлақ > 4-ші бұлақ.

**Түйін сөздер:** бұлақ суы, уыттылық, мутагенділік, биосенсор штаммдар, ауыр металдар.

Ловинская А.В.<sup>1\*</sup>, Колумбаева С.Ж.<sup>1</sup>, Суворова М.А.<sup>1</sup>,  
Илиясова А.И.<sup>1</sup>, Абилев С.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
НИИ проблем биологии и биотехнологии, Казахстан, г. Алматы  
<sup>2</sup>Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Россия, г. Москва,  
\*e-mail: annalovinska@rambler.ru

#### **Токсическая и мутагенная активность родников г. Алматы**

Родники как естественные выходы подземных вод на поверхность являются важнейшим компонентом природной среды. Родниковая вода считается от природы исключительно чистой, прозрачной, вкусной и сбалансированной по своему химическому составу, что делает ее привлекательной для человека. Однако качество родниковой воды на урбанизированных территориях значительно ухудшилось вследствие большого риска поступления в грунтовые воды химических и бактериальных загрязнителей. Поэтому были проведены исследования родниковой воды, активно потребляемой населением г. Алматы, на токсическую и мутагенную активность. Родник 1 расположен близ р. Проходной, конечная остановка автобуса №28; родник 2 – по дороге на Большое Алматинское озеро, перед мостом над р. Улкен Алматы; родник 3 – близ р. Батарейка по дороге на Кок-Жайляу; родник 4 – у остановки Просвещенец по дороге на Медео. Установлено превышение ПДК по свинцу в воде родников 1, 3 и 4. В соответствии с установленными ПДК по тяжелым металлам вода из родника 2 относится к 1 классу качества и пригодна для всех видов водопользования; вода из родника 1, 3 и 4 относится ко 2 классу качества. Воды этого класса водопользования пригодны для всех категорий водопользования за исключением хозяйственно-питьевого назначения. С помощью биолюминесцентного теста выявлена высокая токсичность воды родников 1-3, которая значительно снижала биолюминесцентный ответ биосенсоров ResA и ColD ( $p < 0,05$ ). В тесте на А. сера установлена фитотоксическая активность воды из всех изученных родников, а также генотоксический эффект воды из родников 1 и 3. В тесте по учету хромосомных аббераций на *H. vulgare* установлено, что вода родника-3 обладала мутагенной активностью, проявившейся в статистически значимом увеличении частоты хромосомных аббераций в семенах ячменя ( $p < 0,01$ ). Остальные изученные воды также увеличивали частоту абберантных клеток по сравнению с контролем, однако разница была статистически не значимой. Кроме того, выявлены с высокой частотой полиплоидные клетки (более 1,5%) в корневой меристеме семян ячменя, проращиваемых на воде из родников 1 и 3, что указывает на наличие мутагенных факторов в водах данных источников. Сравнительный анализ уровня загрязненности исследованных родников тяжелыми металлами, уровня токсической и мутагенной активности воды позволяет ранжировать исследованные водные объекты в следующем порядке: родник 3 > родник 1 > родник 2 > родник 4.

**Ключевые слова:** родниковая вода, токсичность, мутагенность, биосенсорные штаммы, тяжелые металлы.

## Introduction

Natural aquatic ecosystems, being the habitat of many organisms, a source of drinking water and a resource for human economic activity, are currently subjected to powerful anthropogenic pressures. Most environmentally hazardous factors have not only toxic but also mutagenic and carcinogenic activity. Identification of potential mutagens and carcinogens for humans is the main task of bioassay. In the complex effects of pollutants, genetic consequences are essential. The increase in the spectrum and the number of environmental pollutants with a mutagenic activity creates a real basis for increasing the genetic load and changing the rate of the mutation process. In the medical-genetic attitude, this can be expressed in increased intrauterine death of individuals, the appearance and spread of congenital malformations, hereditary diseases, and a genetically determined predisposition to diseases [1]. The test for the genotoxicity and mutagenicity of various pollutants in model organisms under laboratory conditions is aimed at finding opportunities to prevent adverse genetic consequences if introduced into the environment. However, not a single model test-object and not a single test system individually can obtain data based on which it would be possible to conclude about the degree of genetic danger of the substance to humans. The specificity of the biological object on which the effect of mutagen is studied, as well as the specificity of mutational events, dictate the need for several biological models and testing methods [1-3].

Recently, interest in springs has grown unusually. The springs represent the natural discharges of groundwater to the surface and are an essential component of the natural environment and geographical environment [4]. It is considered that spring water, passing through sand or gravel, undergoes natural and almost perfect treatment. Therefore, people believe that natural spring water is naturally pure, transparent, delicious, and balanced in its chemical composition. However, there is an excellent risk of chemical and bacterial pollutants entering groundwater, and therefore the quality of spring water in urban areas has deteriorated significantly lately. This is confirmed by the results of environmental-hydrochemical, toxicological studies, and sanitary-hygienic monitoring [4-8].

In view of the foregoing, this study aimed to study the toxic and mutagenic activity of spring water, actively consumed by the population of Almaty.

## Material and methods

The objects of the study were water from springs located in the territory of Almaty. Four springs, often used by the population, were selected: Spring 1 is located near the river Prohodnaya, bus stop number 28; spring 2 – on the road to the Big Almaty Lake, in front of the bridge over the river Ulken Almaty; spring 3 – near the river Batareika on the road to Kok-Zhailau; spring 4 – at the Prosveshchenets stop on the road to Medeu. The location of the springs is shown in Figure 1.

The test objects of the study were the biosensor strains of *Escherichia coli* (MG 1655 (pSoxS-*lux*), MG1655 (pKatG-*lux*), MG1655 (pCoID-*lux*), MG1655 (pRecA-*lux*), barley (*Hordeum vulgare* L.) variety Baiseshok, onion (*Allium cepa*). The positive controls were 4-nitroquinoline 1-oxide (4-NQO, C<sub>9</sub>H<sub>6</sub>N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); methyl methanesulfonate (MMS, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>S), as mutagens; 1,1'-dipyrilidium dichloride (paraquat, C<sub>12</sub>H<sub>14</sub>C<sub>12</sub>N<sub>2</sub>) and hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), as oxidants.

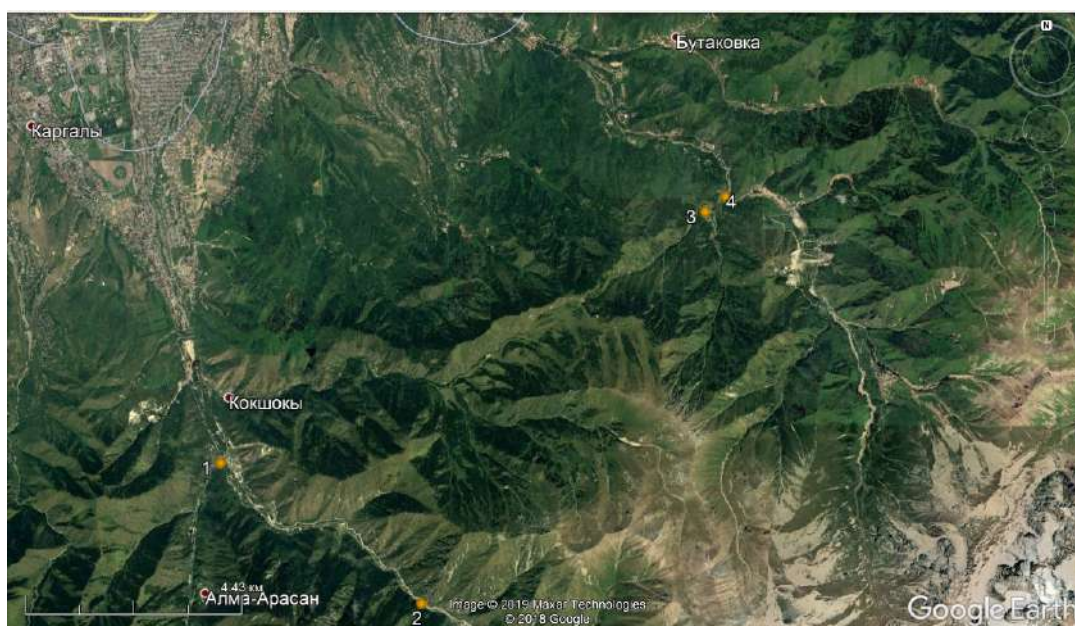
Sampling, filtration, and preservation of water samples were carried out according to GOST 31861-2012 [9]. At the place of water sampling, physical parameters of water quality were measured: temperature, pH, Total Dissolved Solids (TDS), oxidation-reduction potential (ORP), dissolved oxygen (DO), electrical conductance (EC) [10]. Temperature, Total Dissolved Solids and electrical conductivity were measured using a portable TDS & EC meter (Barry Century, China), pH values – a portable pH meter analyzer PH-009(I) (Barry Century, China), oxidation-reduction potential – a portable analyzer of the ORP-meter ORP169E (Barry Century, China), the content of dissolved oxygen – a portable analyzer of the DO-meter DO-pen type (Alvin Instrument, China).

The heavy metals were determined by atomic absorption on an MGA-915MD atomic absorption spectrophotometer (Lumex, Russia) according to PND F 14.1: 2.214-06 [11].

To determine the toxic, genotoxic, and oxidative activity of water using a bioluminescent test, genetically modified *E. coli* strains were used: *E. coli* MG 1655 (pSoxS-*lux*), *E. coli* MG1655 (pKatG-*lux*), *E. coli* MG1655 (pCoID-*lux*), *E. coli* MG1655 (pRecA-*lux*) [12, 13]. The pCoID and pRecA promoters detect substances that induce DNA damage. 4-nitroquinoline 1-oxide (4-NQO) was used to activate these promoters at a concentration of 75.0 µg/mL. PkatG and PsoxS promoters detect substances inducing oxidative stress in the cell. The PkatG promoter (OxyR activator protein) specifically reacts

to hydrogen peroxide, organic peroxides, and the PsoxS promoter (SoxR activator protein) to specific superoxide ion radicals [8, 12, 13]. Hydrogen peroxide was used to activate the pKatG promoter at a concentration of 0.01  $\mu\text{g/mL}$ ; paraquat was used to activate the PSoxS promoter at a concentration of 10.0  $\mu\text{g/mL}$ . Negative control was distilled water. Bacteria grew in Luria-Bertani broth (LB) containing 100  $\mu\text{g/mL}$  ampicillin. The overnight culture was diluted to a concentration of 107 cells/mL in fresh LB-broth and grown at 37° C for 2-3 hours. Aliquots of this culture (160  $\mu\text{L}$  each) were transferred to sterile cells (located in the well of the microplate) and added 40  $\mu\text{L}$  of test water samples. 40  $\mu\text{L}$  of distilled water or a standard mutagen/oxidant was added to control wells. Incubated at specific time intervals: for pColD-*lux* – 90 minutes, pRecA- and pSoxS-*lux* – 60 minutes, for pKatG-*lux* – 45 minutes. The bacterial luminescence level was measured on a LuMate 4400 microplate luminometer (Awareness Technology, USA) and expressed in relative light units (RLU). The criterion of the toxic

effect is the change in the bioluminescence intensity of the test object in the sample compared to that for the sample with a solution that does not contain toxic substances. The change in the intensity of bioluminescence is proportional to the toxic effect. A quantitative assessment of the test reaction parameter is expressed as the dimensionless value of the toxicity index (IT): IT <20% – allowable degree of toxicity; IT = 15-20% with a statistically significant difference between experience and control and IT = 20-50% – the sample is toxic; IT > 50 – the sample is highly toxic. A measure of genotoxicity is induction factor (I), which was defined as the ratio of the luminescence intensity of a suspension of a lux biosensor containing the test compound (Lc) to the luminescence intensity of a control suspension of a lux biosensor (Lk). With a significant difference between the experiment and control I <2, the detected genotoxic effect was evaluated as “weak”; when 2 < I <10 – as “average”; at I > 10 – as a “strong” effect. All experiments were performed in 3-5 independent replicates [8].



Spring 1 – coordinates: 43°06'47.79" north, 76°54'49.70" east, near the river Prohodnaya, bus stop number 28; spring 2 – coordinates: 43°05'45.13" north, 76°57'51.65" east, on the road to the Big Almaty Lake, in front of the bridge over the river Ulken Almaty; spring 3 – coordinates: 43°09'33.96" north, 77°02'8.95" east, near the river Batareika on the road to Kok-Zhailau; spring 4 – coordinates: 43°09'43.79" north, 77°02'27.47" east, at the Prosveshchenets stop on the road to Medeu

**Figure 1** – The location of the sampling points of water samples of the springs of Almaty

Bulbs of onions (*Allium cepa* L.) were used to determine phytotoxicity. Standard mutagen (positive control) was methyl methanesulfonate (MMS) at a concentration of 10.0 mg/L [14]. Negative control was distilled water containing residual amounts of nitric acid. Bulbs of equal size (4 cm in diameter) were cleaned of tunics, weighed, and placed in filtered water samples so that the bottom came into contact with the test water (5 replicates). The experiment was carried out at room temperature, protecting the onion from direct sunlight. Phytotoxicity of water samples was determined by the growth of the root bundles of the bulb. On days 7 and 14, the roots' length of each bulb was measured, and after the end of the experiment, the bulb and its root part were weighed [15].

The test object for determining the cytotoxicity and mutagenicity of water was used seeds of spring two-row barley (*Hordeum vulgare* L.) variety Baiseshkek. Standard mutagen (positive control) was methyl methanesulfonate (MMS) at a concentration of 5.0 mg/L. Negative control was distilled water containing residual amounts of nitric acid. Treatment with each water sample was carried out for 4 hours. Germination and fixation were carried out according to the generally accepted method [16]. To determine

the mutagenic activity of the studied samples, we used chromosomal aberration assay (metaphase method) [16]. Staining was carried out with *fuchsin-sulfurous acid*. Cytological preparations were analyzed on an Olympus BX 43F series microscope (Olympus, Japan).

Data were evaluated using The Analysis *ToolPak add-in of Excel*, StatPlus, and WINPIPI. In all cases, mean values and standard errors of the mean were determined. The significance of differences in means was evaluated using the Student's test. The differences were considered significant, with a confidence level of 0.95 ( $p < 0.05$ ).

## Results and Discussion

### *Physicochemical analysis of the composition of water samples*

Table 1 presents the results of the physicochemical parameters of the studied spring waters. In the studied springs, the temperature values ranged from 2.8 to 9.8°C, and the pH values in the water samples were 5.8-6.4 so that waters are slightly acidic. The redox potential (ORP) in the studied waters fluctuated mainly in the range of 153-167 mv.

**Table 1** – Physicochemical parameters of water samples from the springs of Almaty

Parameters	Water samples			
	Spring 1	Spring 2	Spring 3	Spring 4
Temperature	9.8	4.2	4.4	2.8
pH	5.8	6.4	6.5	6.0
ORP (mv)	155.0	153.0	158.0	167.0
TDS (ppm)	365.0	45.0	181.0	191.0
EC (µS/cm)	580.0	90.0	362.0	398.0
DO (mg/L)	2.6	2.3	2.8	2.7
Ni (mg/L)	0.0026±0.0002	0.0009±0.0001	0.0030±0.0001	0.0029±0.0001
Mn (mg/L)	0.0095± 0.0003	0.0096± 0.0001	0.0094± 0.0001	0.0067± 0.0001
Co (mg/L)	0.0018± 0.0002	0.0014± 0.0001	0.0005± 0.0001	0.0004± 0.0000
Pb (mg/L)	0.0096± 0.0002	0.0050± 0.0001	0.0078± 0.0002	0.0106± 0.0003
Cr (mg/L)	0.0093± 0.0001	0.0037± 0.0001	0.0104± 0.003	0.0077± 0.0002
Fe (mg/L)	0.0106± 0.0003	0.0040± 0.0001	0.0034± 0.0001	0.0125± 0.0001
Zn (mg/L)	0.0083± 0.0003	0.0025± 0.0002	0.0065± 0.0001	0.0257± 0.0002
Cu (mg/L)	0.0006± 0.0000	0.0004± 0.0001	0.0006± 0.0001	0.0007± 0.0001
Cd (mg/L)	0.0009± 0.0001	0.0004± 0.0001	0.0006± 0.0001	0.0007± 0.0001

The total salinity (ppm) of water varied in the range of 45-365. The electrical conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) of water from source Spring 1 was 580, Spring 2 – 90, Spring 3 – 362 and Spring 4 – 398. The increase in TDS and EC in water samples can be associated with a high concentration of dissolved mineral salts and ions:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . The dissolved oxygen content (mg/L) ranged from 2.3 to 2.8.

The content of the following heavy metals was determined in water samples: nickel, manganese, cobalt, lead, chromium, iron, zinc, copper, cadmium. According to the Unified system for classifying water quality in water bodies, springs 1, 3, 4 can be attributed to the 2nd class of water quality according to the lead content in water [17]. For other metals, water quality can classify as class 1, which is the best quality.

The results obtained indicate that, according to the content of heavy metals, the water from spring 2 is of the best quality and is suitable for all types of water use: for drinking water, fishery purposes, domestic use. Water from spring 1, 3, and 4 belongs to quality class 2. The waters of this class of water use are suitable for all categories of water use, except for domestic. For domestic use, simple water treatment methods are required.

The study of the mutagenicity of water samples using a bioluminescent test

The spring water samples were studied to detect responses to DNA-tropic agents and oxidative stress using a bioluminescent test (*lux*-biosensors). The genotoxic activity of water samples was studied on strains of *E. coli* MG1655 (pRecA-*lux*) and *E. coli* MG1655 (pColD-*lux*), and the prooxidant activity was studied on strains of *E. coli* MG 1655 (pSoxS-*lux*) and *E. coli* MG1655 (pKatG-*lux*). The pRecA-*lux* and pColD-*lux* biosensors respond by increasing the level of bioluminescence to DNA damaging substances, the pKatG-*lux* biosensor by the oxidative stress caused by the appearance of hydrogen peroxide, and the pSoxS-*lux* biosensor by the appearance of a superoxide anion.

When using the RecA biosensor, no increase in the bioluminescent response was recorded in the studied waters. Moreover, in samples of springs 1 and 2, high values of the toxicity index were noted, amounting to 19.73% ( $p < 0.05$ ) and 21.03% ( $p < 0.01$ ), respectively (Table 2). Perhaps this is due

to the high toxicity of the samples, which inhibits the growth of the culture and reduces the level of bioluminescence.

When using the ColD biosensor, a similar pattern was observed with low values of the induction factor with simultaneous high values of toxicity (Table 2). Water from all the studied springs was toxic (toxicity index was 21.4-26.7%). Moreover, a statistically significant decrease in bioluminescence was observed in water samples of springs 1-3 ( $p < 0.05$ ).

When using biosensors KatG and SoxS, a decrease in the bioluminescent response was also observed; however, these indicators were not statistically significant (Table 2).

In this series of experiments, the bioluminescent test did not reveal DNA tropic or oxidative stress effects in any of the water samples. However, the revealed toxicity in spring water may have led to the death of microorganisms, which led to a significant decrease in the bioluminescent response of RecA and ColD biosensors.

*The study of phytotoxic and mutagenic activity of spring water using plant test systems*

The water phytotoxicity was evaluated by measuring the root's length of onion (*Allium cepa*) when germinating it on various water samples. An effect is phytotoxic if not only the inhibitory but also the eutrophic (stimulating) effect is detected.

The average length of the onion root system in the negative control (distilled water) at 7 and 14 days of germination was 2.83 cm and 5.14 cm, respectively. The average length of the onion root system in the positive control (MMS; 10.0 mg/L) on days 7 and 14 of germination was 1.50 cm and 2.49 cm, respectively. The inhibitory effect of MMS was 46.85% and 51.66%. When germinating bulbs in spring water, an inhibitory effect was not detected, but a stimulation effect was observed. After seven days of onion germination, the stimulating effect was exerted by water samples from spring 2 (181.99%), and after 14 days by water samples from spring 1 (155.43%), spring 3 (187.31%) and spring 4 (173.90%).

On the roots of onions, germinated in the water of springs 1 and 3, on day 14, such a morphological change as branching was observed (Figure 2). Some authors have found that increasing doses of mutagenic substances in plants cause primarily morphological changes in the roots [15].

**Table 2** – Effect of water samples on the luminescence of bacteria of strains *E. coli* MG1655 (pRecA-lux) and *E. coli* MG1655 (pColD-lux) (genotoxic activity), *E. coli* MG1655 (pKatG-lux) and *E. coli* MG1655 (pSoxS-lux) (prooxidant activity)

Water samples	<i>E. coli</i> MG1655 (pRecA-lux)			<i>E. coli</i> MG1655 (pColD-lux)			<i>E. coli</i> MG1655 (pKatG-lux)			<i>E. coli</i> MG1655 (pSoxS-lux)		
	luminescence, RLU	induction factor	toxicity index, %	luminescence, RLU	induction factor	toxicity index, %	luminescence, RLU	induction factor	toxicity index, %	luminescence, RLU	induction factor	toxicity index, %
Distilled water	19742.37 ± 967.28	-	-	533.84 ± 38.35	-	-	1679.23 ± 92.70	-	-	5316.81 ± 317.61	-	-
Positive control	111819.60 ± 4601.19***	5.66	-	20151.74 ± 4152.37***	37.75	-	51858.93 ± 3762.52***	30.88	-	36830.14 ± 14221.39***	6.93	-
Spring 1	15847.13 ± 965.23*	0.80	19.73	391.29 ± 40.27*	0.73	26.70	1644.15 ± 86.59	0.98	2.09	4731.38 ± 1285.16	0.89	11.01
Spring 2	15591.25 ± 746.46**	0.79	21.03	419.63 ± 36.00*	0.79	21.40	1545.95 ± 99.40	0.92	7.94	4623.20 ± 1541.93	0.87	13.05
Spring 3	17695.00 ± 2656.14	0.90	10.37	396.69 ± 42.06*	0.74	25.69	1457.82 ± 255.52	0.87	13.18	4742.25 ± 501.50	0.89	10.81
Spring 4	17887.88 ± 2704.90	0.91	9.39	404.59 ± 57.10	0.76	24.21	1496.64 ± 251.19	0.89	10.87	4730.50 ± 237.50	0.89	11.03

Note: RLU – relative light units;

▪ Positive control for the pCoD and pRecA promoters is 4-nitroquinoline 1-oxide, 75.0 µg/mL; for PkatG promoter – hydrogen peroxide, 0.01 µg/mL; for PSoxS promoter – paraquat, 10.0 µg/mL;

\* – p<0,05; \*\* – p<0,01; \*\*\* – p<0,001 in comparison with distilled water





**Figure 2** – Branching on the roots of onions, germinated in the water of the spring 3

The results obtained in this series of experiments indicate the toxicity of water from all the springs and the possible mutagenic activity of water from springs 1 and 3.

We also studied the mutagenic activity of spring water in chromosomal aberration assay. Table 3 presents the results of the cytogenetic analysis of barley seeds treated with water from the studied springs.

**Table 3** – Frequency and spectrum of structural chromosome abnormalities induced by spring water in barley seeds

Experimental variant	1. Total studied cells	The aberrant cell frequency (M ± m%)	The number of chromosomal aberrations per 100 metaphase cells		
			2. total aberrations	1. chromosome type	3. chromatid type
Distilled water	490	1.63 ± 0.57	2.04 ± 0.64	0.82 ± 0.41	1.22 ± 0,50
MMS, 5.0 mg/L	530	5.66 ± 1.00***	6.98 ± 1.11***	2.83 ± 0.72*	4.15 ± 0.87**
Spring 1	487	2.05 ± 0.64	2.26 ± 0.67	1.44 ± 0.54	0.82 ± 0.41
Spring 2	450	1.78 ± 0.62	2.67 ± 0.76	1.56 ± 0.58	1.11 ± 0.49
Spring 3	529	4.54 ± 0.90**	7.75 ± 1.16***	4.35 ± 0.89***	3.40 ± 0.79*
Spring 4	448	1.79 ± 0.63	2.46 ± 0.73	1.34 ± 0.54	1.12 ± 0.50

Note: \* – p<0,05; \*\* – p<0,01; \*\*\* – p< 0,001 in comparison with distilled water

Cytogenetic analysis showed that water from spring 3 has mutagenic activity and induces structural chromosome abnormalities with a frequency that is statistically significantly higher than the spontaneous mutation level. An excess of the frequency of aberrant cells and the number of chromosome aberrations per 100 metaphases were observed. The frequency of aberrant cells was 2.8 (p < 0.01) times higher than the control level, and the number of chromosomal aberrations per 100 metaphases was 3.8 (p < 0.001) times. The mutagenicity of water from spring 3 was at the level of positive control (MMS). MMS, being a classical mutagen, statistically significantly increased the frequency of aberrant cells and the number of chromosome aberrations per 100 metaphases in the cells of the root meristem of barley seeds compared to the negative control (distilled water) in 3.5 (p < 0.001) and 3.4 (p < 0.001) times, respectively. A comparative analysis of cytogenetic parameters in variants with MMS and spring water, which showed genotoxic activity, did not reveal statistically significant differences. It indicates the presence of mutagenic factors in spring water that induce structural mutations. The water of springs 1, 2, 4 have not mutagenic activity.

The spectrum of structural mutations induced by water with mutagenic activity was aberrations of both chromosomal and chromatid types. Aberrations of the chromosome type were represented mainly by paired terminal and interstitial deletions. Among The chromatid-type aberration were represented single terminal deletions, single acentric rings, and microfragments. The revealed spectrum of chromosomal aberrations indicates the presence of mutagenic factors of a wide range of activities in the spring water 3.

It is important to note that in almost all variants of the experiment where seed germination was carried out on samples of spring water, anaphases with structural chromosomal abnormalities were observed: bridges, chromosome lag, single and paired fragments, multipolar anaphases that were absent in the negative control (distilled water). Besides, polyploid cells were identified in variants where seed germination was carried out on the water from springs 1 and 3.

### Conclusion

With the increase in the number and rate of emission of environmentally hazardous factors into

the environment, among which various chemicals with mutagenic and genotoxic activity, ecological and genetic monitoring of the environment is of particular the relevance and the importance [1-3, 18]. Identification of potential mutagens and carcinogens for humans is the main task of testing. In the late 60s and early 70s, the methods for studying mutagenic and carcinogenic activity did not overlap and were based on different principles. The priority tasks were to control environmental and to develop scientific areas that would allow a comprehensive assessment of the impact of these processes on humans.

The test for the mutagenicity of various pollutants at model organisms in the laboratory aims at finding opportunities to reduce human contact with mutagenic factors and prevent adverse genetic consequences if introduced into the environment. However, none of them individually allows us to obtain data based on which it would be possible to conclude the degree of genetic danger of the test substance to humans. The specificity of the biological object on which the effect of mutagen is studied, as well as the specificity of mutational events, dictate the need for several biological models and testing methods [3].

Natural aquatic ecosystems, being the habitat of many organisms, a source of drinking water and a resource for human economic activity, are currently subjected to powerful anthropogenic pressures. In this regard, the conduct of toxicological and genotoxicological studies of natural waters exposed to environmental pollutants, especially in areas of human residence, is critical.

Using various physicochemical and biological methods of analysis, test systems, and test objects, we studied the physicochemical parameters of spring water, their toxic, genotoxic, and mutagenic activities.

An analysis of the physicochemical parameters of the studied spring waters showed that they are slightly acidic (pH 5,8-6,5). For drinking water according to the standards, the pH should be 6.5-8.5 [17]. Lower pH values in the waters are probably due to the presence of weak organic acids and weak base cations. The total dissolved solids (ppm) of the water varied in the range of 45–365, and the electrical conductivity was 90–580  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . An increase in the values of total dissolved solids and electrical conductivity in water samples can be associated with a high concentration of dissolved mineral salts and ions:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .

Following the established MPC for drinking water, spring water 2 is suitable as a source of

drinking water supply, water from other springs can use for drinking purposes only after simple water treatment methods.

The studied spring waters have no DNA-tropic and oxidative effects using the bioluminescent test. However, toxicity was established for it, which caused a significant decrease in the bioluminescent response of RecA and ColD biosensors.

On plant test systems, the phytotoxic activity of all the studied springs was established, and the mutagenic activity for spring 1 and 3. It indicates the presence of toxic and mutagenic factors in the water of these sources.

Natural waters prone to anthropogenic pollution, as a rule, may contain a complex mixture of chemicals, the physical and chemical analysis of which may not always give accurate knowledge about the composition and concentrations of various components. Besides, individual chemicals may be in deficient concentrations and not detected by analytical methods. However, the combined action of the chemicals presents even at low concentrations can produce a variety of adverse effects on the body [19-23].

It is essential to evaluate the genotoxicity of contaminated water as a whole, and not of each component [23], since biological effects can be caused mainly by the effects of a mixture of pollutants. It is the simultaneous use of a battery of test objects and test systems (microorganisms *E. coli*; plants *A. cepa*, *H. vulgare*) that can assess the potential risk of water pollution for various forms of organisms.

A comparative analysis of the level of pollution of the studied spring water with heavy metals, the level of toxic and mutagenic activity allows ranking the studied water objects in the following order: spring 3 > spring 1 > spring 2 > spring 4.

Thus, the results of studies of the toxic, genotoxic, and mutagenic potentials of the water of 4 springs on the territory near Almaty, obtained at various test systems and test objects, testify to their pollution by environmentally dangerous factors that pose a threat to biota and human health. At present, studies are being conducted on the effect of water from the studied springs on laboratory mammals (rodents) to extrapolate the data obtained to humans.

### Conflict of interest

All authors have read and are familiar with the article's contents, and have no conflict of interest.

## Funding

The work was carried out within the framework of the grant AP05130546 “Study of mutagenic, genotoxic and toxic activity of surface waters in Almaty city and Almaty region” with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

## Abbreviations

TDS – Total Dissolved Solids, ORP – oxidation-reduction potential, DO – dissolved oxygen, EC – electrical conductance, 4-NQO – 4-nitroquinoline 1-oxide, MMS – methyl methanesulfonate, RLU – relative light units, IT – toxicity index, MPC – Maximum permissible concentration

## References

- Абилев С.К., Глазер В.М. Мутагенез с основами генотоксикологии. – М.; СПб.: Нестор-История, 2015. – 304 с.
- Abilev S.K., Glaser V.M. Genetic Toxicology: findings and challenges // Russian Journal of Genetics. 2013. – Vol. 49. № 1. – P. 70-80.
- Биологический контроль окружающей среды. Генетический мониторинг: учеб. пособие для студ. высш. проф. образования / под ред. С.А.Гераськина и Е.А.Сарапульцевой. – М.: «Академия», 2010. – 208 с.
- Вашук В.В. Природные святыне родники центрального Черноземья как источники водоснабжения // Новая наука: опыт, традиции, инновации. – 2016. – №3-2 (71). – С. 3-6.
- Лукашевич О.Д., Чернышова А.А. Безопасность воды в родниках города Томска // XXI век. Техносферная безопасность. – 2018. – Т. 3, №2(10). – С. 81-97.
- Barakat A., Meddah R., Afdali M., Touhami F. Physicochemical and microbial assessment of spring water quality for drinking supply in Piedmont of Béni-Mellal Atlas (Morocco) // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. – 2018. – Vol.104. – P. 39-46.
- Каиргалиева Г.З., Сергеева И.В., Орлов А.А. Оценка качества воды родников Актюбинской области Западного Казахстана на основе гидрохимических и токсикологических показателей // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 7. – С. 11-15.
- Кхатаб З.С. Эколого-генетическая оценка качества воды родников г. Ростова-на-Дону методом биотестирования с использованием светящихся бактерий. Дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08, 03.00.15. – Ростов-на-Дону, 2012. – 184 с.
- ГОСТ 31861–2012. Международный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2013. – 64с.
- Patil P., Sawant D., Rn D. Physico-Chemical Parameters for Testing of Water—a Review // International Journal of Environmental Sciences. – 2012. – Vol. 3, № 3. – P. 1194–1207.
- ПНД Ф 14.1:2:4.214-06. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в питьевых, поверхностных и сточных водах методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. – М., 2006. – 22 с.
- Завильгельский Г.Б., Котова В.Ю., Манухов И.В. Сенсорные биоллюминесцентные системы на основе *lux*-оперонов для детекции токсичных веществ // Химическая физика. – 2012. – Т. 31, №10. – С. 15-20.
- Kotova V.Y., Manukhov I.V., Zavilgelskii G.B. *Lux*-biosensors for detection of SOS-Response, Heat Shock, and Oxidative Stress // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2010. – Vol. 46, №8. – P. 781-788.
- da Silva R.M.G., do Amaral E.A., de Oliveira Moraes V.M., Silva L.P. Determination of heavy metals and genotoxicity of water from an artesian well in the city of Vazante-MG, Brazil // African Journal of Biotechnology. – 2013. – Vol. 12, № 50. – P. 6938–6943.
- Подолова С.В., Иванюгин Н.М. Оценка качества вод реки Салгир с использованием метода биотестирования // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – Т. 27, № 3. – С. 127–143.
- Колумбаева С.Ж., Ловинская А.В., Калимагамбетов А.М. Цитогенетические методы в генетическом мониторинге. – Алматы : Казак ун-ті, 2018. – 161 с.
- Об утверждении единой системы классификации качества воды в водных объектах // Приказ Председателя Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан от 9 ноября 2016 года №151.
- Chung W.Y., Yoo J.H. Remote water quality monitoring in wide area // Sensors and Actuators, B: Chemical. – 2015. – Vol. 217. – P.51–57.
- Kern D.I., Oliveira Schwaickhardt R. De, Lutterbeck C.A., Kist L.T., Alcayaga E.A.L., Machado Ê.L. Ecotoxicological and genotoxic assessment of hospital laundry wastewaters // Archives of environmental contamination and toxicology. – 2015. – Vol. 68, № 1. – P. 64–73.
- Geras'kin S., Oudalova A., Michalik B., Dikareva N., Dikarev V. Genotoxicity assay of sediment and water samples from the Upper Silesia post-mining areas, Poland by means of *Allium*-test // Chemosphere. – 2011. – Vol. 83, № 8. – P.1133–1146.
- Ohe T., Watanabe T., Wakabayashi K. Mutagens in surface waters: A review // Mutation Research – Reviews in Mutation Research. – 2004. – Vol. 567, № 2–3 SPEC. ISS. – P.109–149.

Ye Y., Weiwei J., Na L., Mei M., Donghong W., Zijian W., Kaifeng R. Assessing of genotoxicity of 16 centralized source-waters in China by means of the SOS/umu assay and the micronucleus test: Initial identification of the potential genotoxicants by use of a GC/MS method and the QSAR Toolbox 3.0 // *Mutation Research – Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. – 2014. – Vol. 763 – P.36–43.

Simonyan A., Gabrielyan B., Minasyan S., Hovhannisyan G., Aroutiounian R. Genotoxicity of Water Contaminants from the Basin of Lake Sevan, Armenia Evaluated by the Comet Assay in Gibel Carp (*Carassius auratus gibelio*) and Tradescantia Bioassays // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2016. – Vol. 96, № 3. – P. 309–313.

## References

Abilev S.K., Glaser V.M. (2013) Genetic Toxicology: findings and challenges. *Russian Journal of Genetics*, vol. 49. no 1, pp. 70-80.

Abilev S.K., Glaser V.M. (2015) Mutagenез s osnovami genotoksikologii [Mutagenesis with the basics of genotoxicology]. Moscow; Saint-Petersburg: Nestor-Istoriya, pp 1- 304 (In Russian).

Barakat A., Meddah R., Afdali M., Touhami F. (2018) Physicochemical and microbial assessment of spring water quality for drinking supply in Piedmont of Béni-Mellal Atlas (Morocco). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A.B.C*, vol.104, pp. 39-46.

Chung W.Y., Yoo J.H. (2015) Remote water quality monitoring in wide area. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 217, pp. 51–57.

Geras'kin S., Oudalova A., Michalik B., Dikareva N., Dikarev V. (2011) Genotoxicity assay of sediment and water samples from the Upper Silesia post-mining areas, Poland by means of Allium-test. *Chemosphere*, vol. 83, no8, pp. 1133–1146.

Geras'kin S.A., Sarapul'tseva E.A. (2010) Biologicheskii kontrol' okruzhayushchei sredy. Geneticheskii monitoring [Biological environmental control. Genetic monitoring]. Moscow: Akademiya, pp. 1-208 (In Russian).

GOST 31861–2012 (2013). Mezhdunarodnyi standart. Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob [International standard. Water. General sampling requirements]. Moscow: Standartinform, pp. 1-64 (In Russian).

Kairgalieva G.Z., Sergeeva I.V., Orlov A.A. (2016) Otsenka kachestva vody rodnikov Aktyubinskoi oblasti Zapadnogo Kazakhstana na osnove gidrokhimicheskikh i toksikologicheskikh pokazatelei [Estimation of water quality of springs in Aqtobe area of Western Kazakhstan on basis of hydrochemical and toxicological indexes]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, no7, pp. 11-15 (In Russian).

Kern D.I., Oliveira Schwaickhardt R. De, Lutterbeck C.A., Kist L.T., Alcayaga E.A.L., Machado Ê.L. (2015) Ecotoxicological and genotoxic assessment of hospital laundry wastewaters. *Archives of environmental contamination and toxicology*, vol. 68, no1, pp. 64–73.

Kkhatab Z.S. (2012) Ekologo-geneticheskaya otsenka kachestva vody rodnikov g. Rostova-na-Donu metodom biotestirovaniya s ispol'zovaniem svetyashchikh bakterii: Dis. ... kand. biol. nauk [Ecological and genetic assessment of water quality in the springs of Rostov-on-Don using the bioassay method using luminescence bacteria. Dis. ... cand. biol. of sciences]. Rostov-na-Donu, pp. 1-184 (In Russian).

Kolumbayeva S.Zh., Lovinskaya A.V., Kalimagambetov A.M. (2018) Tsitogeneticheskie metody v geneticheskom monitoringe [Cytogenetic methods in genetic monitoring]. Almaty: Kazak un-ti, pp. 1-161 (In Russian).

Kotova V.Y., Manukhov I.V., Zavilgelskii G.B. (2010) Lux-biosensors for detection of SOS-Response, Heat Shock, and Oxidative Stress. *Applied Biochemistry and Microbiology*, vol. 46, no8, pp. 781-788.

Lukashevich O.D., Chernyshova A.A. (2018) Bezopasnost' vody v rodnikakh goroda Tomska [Water safety in Tomsk springs]. XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost', vol. 3, no2(10), pp. 81-97 (In Russian).

Ob utverzhdenii edinoi sistemy klassifikatsii kachestva vody v vodnykh ob'ektakh: Prikaz Predsedatelya Komiteta po vodnym resursam Ministerstva sel'skogo khozyaistva Respubliki Kazakhstan ot 9 noyabrya 2016 goda №151 [On approval of a unified system for classifying water quality in water bodies .. Order of the Chairman of the Committee on Water Resources of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated November 9, 2016 No. 151.] (In Russian).

Ohe T., Watanabe T., Wakabayashi K. (2004) Mutagens in surface waters: A review. *Mutation Research – Reviews in Mutation Research*, vol. 567, no 2–3, pp.109–149.

Patil P. Sawant D., Rn D. (2012) Physico-Chemical Parameters for Testing of Water—a Review. *International Journal of Environmental Sciences*, vol. 3, no 3, pp. 1194–1207.

PND F 14.1:2.4.214-06 (2006). Kolichestvennyi khimicheskii analiz vod. Metodikaizmerenii massovykh kontsentratsii zheleza, kadmiya, kobal'ta, margantsa, nikelya, medi, tsinka, khroma i svintsa v pit'evykh, poverkhnostnykh i stochnykh vodakh metodom plamennoi atomno-absorbtsionnoi spektrometrii [Quantitative chemical analysis of water. Measurement procedure for mass concentrations of iron, cadmium, cobalt, manganese, nickel, copper, zinc, chromium and lead in drinking, surface and wastewater by flame atomic absorption spectrometry]. Moscow, pp. 1-22 (In Russian).

Podovalova S.V., Ivanyutin N.M. (2017) Otsenka kachestva vod reki Salgir s ispol'zovaniem metoda biotestirovaniya [Estimation of water quality of the Salgir river by biotesting method]. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii*, vol. 27, no3, pp. 127–143 (In Russian).

da Silva R.M.G., do Amaral E.A., de Oliveira Moraes V.M., Silva L.P. (2013) Determination of heavy metals and genotoxicity of water from an artesian well in the city of Vazante-MG, Brazil. *African Journal of Biotechnology*, vol. 12, no 50, pp. 6938–6943.

Simonyan A., Gabrielyan B., Minasyan S., Hovhannisyan G., Aroutiounian R. (2016) Genotoxicity of Water Contaminants from the Basin of Lake Sevan, Armenia Evaluated by the Comet Assay in Gibel Carp (*Carassius auratus gibelio*) and *Tradescantia* Bioassays. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 96, no 3, pp. 309–313.

Vashchuk V.V. (2016) Prirodnye svyatyie rodniki tsentral'nogo Chernozem'ya kak istochniki vodosnabzheniya [Natural holy springs of the central Chernozem region as sources of water supply]. *Novaya nauka: opyt, traditsii, innovatsii*, vol. 71, no 3-2, pp. 3-6 (In Russian).

Ye Y., Weiwei J., Na L., Mei M., Donghong W., Zijian W., Kaifeng R. (2014) Assessing of genotoxicity of 16 centralized source-waters in China by means of the SOS.umu assay and the micronucleus test: Initial identification of the potential genotoxicants by use of a GC.MS method and the QSAR Toolbox 3.0. *Mutation Research – Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, vol. 763, pp. 36–43.

Zavil'gel'skii G.B., Kotova V.Yu., Manukhov I.V. (2012) Sensornye biolyuminescentnye sistemy na osnove lux-operonov dlya detektsii toksichnykh veshchestv [Lux-operon sensory bioluminescent systems for the detection of toxic substances]. *Khimicheskaya fizika*, vol. 31, no10, pp. 15-20 (In Russian).

**Гумарова Л.Ж.\* , Бикинеева Э.Р., Аблайханова Н.Т.,  
Бактыбаева Л.К., Ыдырыс А.**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
Научно-исследовательский институт проблем биологии и биотехнологии,  
Казахстан, г. Алматы, e-mail: [Lyazzat.Gumarova@kaznu.kz](mailto:Lyazzat.Gumarova@kaznu.kz)

## **ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ФОНА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В ГОРАХ И ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ЦИРКАДИАННЫЕ РИТМЫ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ**

Свет является главным задатчиком времени в регуляции циркадианных ритмов. Целью данного исследования являлось изучение влияния естественного фона солнечной радиации с повышенной долей коротковолнового света (кратковременное пребывание в горах) и обычным искусственным освещением в городских условиях на циркадианные ритмы двигательной активности. В исследовании приняли участие практически здоровые добровольцы (N=12) в возрасте от 45 до 55 лет, женщины, в ходе эксперимента поднимавшиеся на горнолыжный курорт «Шымбулак», а также Алма-Арасанское ущелье и Большое Алматинское озеро в составе обычных туристических групп. Для регистрации двигательной активности использованы портативные приборы регистрации двигательной активности Micromotion Logger (AMI), ежеминутно регистрирующие уровень ZCM, HPIM, PIM, освещенности. Пакет обрабатывающих первичные данные программ Action 4 также включает в себя модифицированный алгоритм оценки сна-бодрствования, циркадианные ритмы оценивались на основании косинор-анализа. Занятия экотрином оказывают заметное стимулирующее влияние на все хроноструктурные параметры циркадианного ритма двигательной активности как тренированных, так и нетренированных лиц. Кроме того, походы в горы также оказывают влияние на продолжительность сна, что следует учитывать при дальнейших исследованиях влияния гор на физиологическое состояние организма туристов и спортсменов.

**Ключевые слова:** среднегорье, актиграфия, двигательная активность, сон, свет, хроноструктура, туристы.

Gumarova L.Zh., Bikineyeva E.R., Ablaihanova N.T.,  
Baktybayeva L.K., Ydyrys A.

Al-Farabi Kazakh National University,  
Scientific Research Institute for Problems of Biology and Biotechnology,  
Kazakhstan, Almaty, e-mail: [Lyazzat.Gumarova@kaznu.kz](mailto:Lyazzat.Gumarova@kaznu.kz)

### **Influence of the natural solar radiation in the mountains and artificial light on the circadian rhythms of motor activity**

Light is the important zeitgeber in the entrainment of circadian rhythms. The aim of this research is study the influence of the natural solar radiation with an increased proportion of short-wave light (short-term stay in the mountains) and the usual artificial light in urban conditions on circadian rhythms of motor activity. The research involved healthy volunteers (N=12), aged 45 to 55 years, women, who climbed the ski resort "Shymbulak" during the experiment, as well as Alma-Arasan gorge and Big Almaty lake as part of the usual tourist groups. For registration of motor activity used portable instruments registration of motor activity to configure a micro motion Logger (AMI), registered every minute ZCM, HPIM, PIM, light level. Package processing the primary data of programs Action 4 also includes a modified algorithm for assessment of sleep-wakefulness. Circadian rhythms were evaluated on the basis of cosinor analysis. Ecofitness have a significant stimulating effect on all chronostructural parameters of circadian rhythm of motor activity of both trained and untrained persons. In addition, Hiking in the mountains also affects the duration of sleep, which should be taken into account in further studies of the influence of mountains on the physiological state of the body of tourists and athletes.

**Key words:** middle altitude, actigraphy, motor activity, sleep, light, chronostructure, tourist.

Гумарова Л.Ж.\* , Бикинеева Э.Р., Аблайханова Н.Т.,  
Бактыбаева Л.К., Ыдырыс А.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Биология және биотехнология мәселелері ғылыми-зерттеу институты,  
Қазақстан, Алматы қ., e-mail: Lyazzat.Gumarova@kaznu.kz

### **Тауларда күн радиациясының табиғи фонының және жасанды жарық көздердің қозғалмалы белсенділіктің циркадиандық ырғақтарына әсері**

Жарық циркадиандық ырғақтың уақытын реттейтін негізгі өлшеуіш. Бұл зерттеу жұмысының негізі мақсаты – күн радиациясының табиғи фоннан шыққан қысқа толқынды жарықтың (тауда уақыттың қысқа мерзімді болуы) және әдеттегі жасанды жарыққа тәуелді қалалық жағдайларда циркадиандық ырғақтардың қозғалыс белсенділігін анықтау болып табылады. Зерттеулерге тәжірибе барысында «Шымбұлақ» тау шаңғысы курорты, Алма-Арасан шатқалы мен Үлкен Алматы көлі жаққа кәдімгі туристік топтар құрамындағы көтерілген 45-тен 55 жасқа дейінгі дені сау еріктілер (N=12), әйелдер қатысты. Қозғалу белсенділігін тіркеу үшін Micromotion Logger (AMI) қозғалу белсенділігін тіркейтін портативті аспаптар, минут сайын ZCM, HPIM, PIM, жарықтандыру деңгейін тіркейтін құралдар қолданылды. Action 4 бағдарламасының бастапқы деректерін өңдеу пакеті ұйқы-сергектікті бағалаудың модификацияланған алгоритмін қамтиды. Циркадиандық ырғақтар косинор-талдау негізінде бағаланды. Экофитнес жаттығулары адамдардың қозғалыс белсенділігінің циркадиандық ырғағының барлық хроноструктуралық параметрлеріне елеулі ынталандырушы әсер етеді. Сонымен қатар, тауға шығу ұйқының ұзақтығына әсер етеді, бұл таудың туристер мен спортшылар ағзасының физиологиялық жағдайына әсерін одан әрі зерттеу кезінде ескеру керек.

**Түйін сөздер:** орта биіктегі таулар, актиграфия, қозғалыс белсенділігі, ұйқы, жарық, хроноструктура, туристер.

### **Введение**

Урбанизация и научно-технический прогресс избавили большинство населения от тяжелого физического труда, голода и эпидемических инфекционных заболеваний. Теперь все большую актуальность приобретают проблемы малоподвижности, неправильного питания и экологических факторов. Идеи здорового образа жизни становятся все более популярными, в том числе и в Казахстане. Физические упражнения являются мощным первичным и вторичным профилактическим средством сердечно-сосудистых заболеваний, особенно из-за ишемической болезни сердца [1]. Среди различных направлений фитнеса одно их самых популярных, без сомнения, – экофитнес, особенно в расположенном в предгорьях Заилийского Алатау городе Алматы, крупнейшем городе Казахстана. Алматы имеет широкую сеть санаториев, детских лагерей, баз и домов отдыха, с проживанием в горной и предгорной местности. В горной местности организм человека испытывает выраженное воздействие так называемых абиотических факторов окружающей среды, таких, как пониженное атмосферное давление и связанное с этим пропорциональное снижение  $PO_2$  в воздухе, резкие смены дневных и ночных температур, низкая абсолютная влажность воздуха, интенсивная солнечная

радиация, сильные ветры, усиливающие охлаждающий эффект, высокая ионизация воздуха с преобладанием отрицательно или положительно заряженных ионов, и другие факторы [2].

Вышеперечисленные факторы оказывают противоречивое воздействие на здоровье людей. С одной стороны, практически все вышеперечисленные факторы можно отнести к стресс-факторам, отрицательно воздействующим на организм [3]. С другой стороны, давно известен и широко используется оздоровительный эффект от пребывания в горной местности. Улучшение в деятельности сердечно-сосудистой [4], дыхательной [5], пищеварительной и нервной систем [6], повышение физической работоспособности и улучшение эмоционального состояния [5, 6], проявляющееся после возвращения из горной местности, и послужило причиной построения многочисленных здравниц близ гор в разных странах мира. Этот эффект требует акклиматизации, т.е. адаптации от 1 до 3 недель [7, 8], что распространяется на людей, отдыхающих в алматинских здравницах. Однако, кроме таких курсов лечения/отдыха, местные туристические компании предлагают жителям и гостям города одно- и двухдневные туры в горы, и данное направление туризма набирает все более широкую популярность. Практически каждый из жителей и гостей столицы побывал на Медео, Шымбула-

ке и др. объектах, являющихся одними из основных достопримечательностей города.

Хронобиологические показатели, учитывающие как естественные суточные колебания, так и реактивные изменения на внешние воздействия, являются наиболее чувствительными и объективными для оценки изменения функционального состояния организма. Ритмом, имеющим ведущее значение в системе всех ритмов организма, ритмом, объединяющим все остальные ритмы в единую колебательную систему, является циркадианный ритм. Его период филогенетически определен геофизическим периодом вращения Земли (сменой дня и ночи) [9, 10]. Запрограммированная последовательность событий в каждом цикле циркадианного ритма сложилась в ходе эволюции как отображение предсказуемых изменений (физических и биологических) на протяжении астрономических суток. Характерная, почти определяющая черта циркадианных программ состоит в том, что их развертывание с большой точностью соответствует реальному циклу дня и ночи. Очевидное функциональное значение имеет то, что выполнение этой программы контролирует ведущий автономный осциллятор, который в свою очередь поддается захватыванию одним или несколькими внешними циклами, к периоду которых он весьма точно подстраивается. Именно захватывание обеспечивает приуроченность отдельных этапов программы к изменениям среды, которая эта программа призвана “нейтрализовать” или использовать [11, 12]. Наиболее важным задатчиком времени (*zeitgeber*) является свет, его период и интенсивность [13]. Особую роль в регуляции циркадианного ритма играет коротковолновая часть видимого спектра, [14], максимальная чувствительность меланопсина приходится именно на эту часть спектра, голубой свет (~480 нм). В горах же в общем спектре солнечного света коротковолновая часть имеет более высокую долю, чем на равнинах [15].

Циркадные осцилляторы внутри отдельных клеток по-разному реагируют на захватывающие сигналы и контролируют различные физиологические выходы, такие как картины сна, температуру тела, высвобождение гормонов, кровяное давление и обмен веществ [16].

Целью данного исследования являлось изучение суточных колебаний получаемой туристами солнечной радиации, изменений хроноструктуры циркадианного ритма двигательной активности, влияния кратковременного пребы-

вания в горах в сочетании с физическими нагрузками на сон туристов.

### Материалы и методы исследования

В исследованиях приняли участие практически здоровые добровольцы (N=12) в возрасте от 45 до 55 лет, женщины, в ходе эксперимента поднимавшиеся на горнолыжный курорт «Шымбулак», а также Алма-Арасанское ущелье и Большое Алматинское озеро в составе обычных туристических групп, по так называемым «турам выходного дня», в ходе эксперимента участвовали как лица, ведущие малоподвижный образ жизни, так и люди, регулярно занимающиеся экофитнесом (ежедневные длительные пешие прогулки по городу, еженедельные восхождения в горы). Восхождение на высоту на обоих маршрутах осуществлялось на транспорте, затем пешком к Тянь-Шаньской астрономической обсерватории, а также дальнейшие экскурсии с восхождениями к водопадам по пешим маршрутам, между которыми были спуски на транспорте. Высота над уровнем моря в случае ущелья Шымбулак – 2260 м, высота ущелья Алма-Арасан – 1780 м высота БАО – 2735 м над уровнем моря, пребывание в горах составляло около 7 часов (с 9 ч до 16 часов), в вечернее время все испытуемые находились в городе, вели обычный образ жизни. Суточное мониторирование двигательной активности начиналось за 5-6 суток до поездки и завершалось не ранее чем через сутки после возвращения в город. Для работы с людьми получено одобрение локального биоэтического комитета ВШОЗ КазНУ имени аль-Фараби для работы с людьми, протокол № IRB – A017.

Для регистрации двигательной активности использованы портативные приборы регистрации двигательной активности Micromotion Logger (AMI), выполненные в виде наручных часов и ежеминутно регистрирующие уровень ZCM, HRIM, PIM, температуру кожи запястья руки, освещенности. Пакет обрабатывающих первичные данные программ Action 4 также включает в себя модифицированный алгоритм оценки сна-бодрствования. Циркадианные ритмы оценивались на основании косинор-анализа.

### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследований были оценены суточные параметры колебаний уровня освещенности (получаемой солнечной радиации), колебаний



уровня двигательной активности, длительности ночного сна у испытуемых с разным уровнем двигательной активности в городе и во время пеших походов в горы.

В регуляции циркадианных ритмов свет, его длительность и интенсивность играют роль главного регулятора, захватывают цикл и управляют работой пейсмекеров [10]. При обычном малоподвижном образе жизни, когда люди в городах проводят практически весь день в том или ином помещении, работа циркадианных осцилляторов может нарушаться, так этого уровня интенсив-

ности света недостаточно для нормальной работы осцилляторов, длительность «светового» дня в помещениях также отличается от естественного. Так, у испытуемых, которые проводят все дни в обычном городском режиме офис-квартира, среднесуточный уровень освещенности в рабочий день, предшествующий поездке, составил 21,08 отн.ед, с максимальным значением 332,29 отн.ед, в день поездки/похода среднесуточный уровень оказался более чем в 12 раз выше, составил 262,73 отн.ед., с максимальным значением 1200 отн.ед.

**Таблица 1** – Среднесуточный уровень получаемого света, при обычном малоподвижном образе жизни, в помещении большую часть суток, летний сезон года

	Мезор освещенности, отн.ед.	Амплитуда	F-отношение	Акрофаза	Критерий согласия R	Дисперсия ошибки
	0.919637*	0.482034*	88,85796	13:55:23	0,3768	0,57296
	1.032287*	1.013496*	416,4878	16:19:41	0,65375	0,498823
	0.83194*	0.577428*	106,2635	16:27:50	0,41849	0,488291
Подъем в горы	1.553985*	1.071928*	567,2217	12:46:08	0,72733	0,506697
	0.823924*	0.852029*	229,4257	16:23:10	0,56788	0,390034
Примечание: * p<0,001						

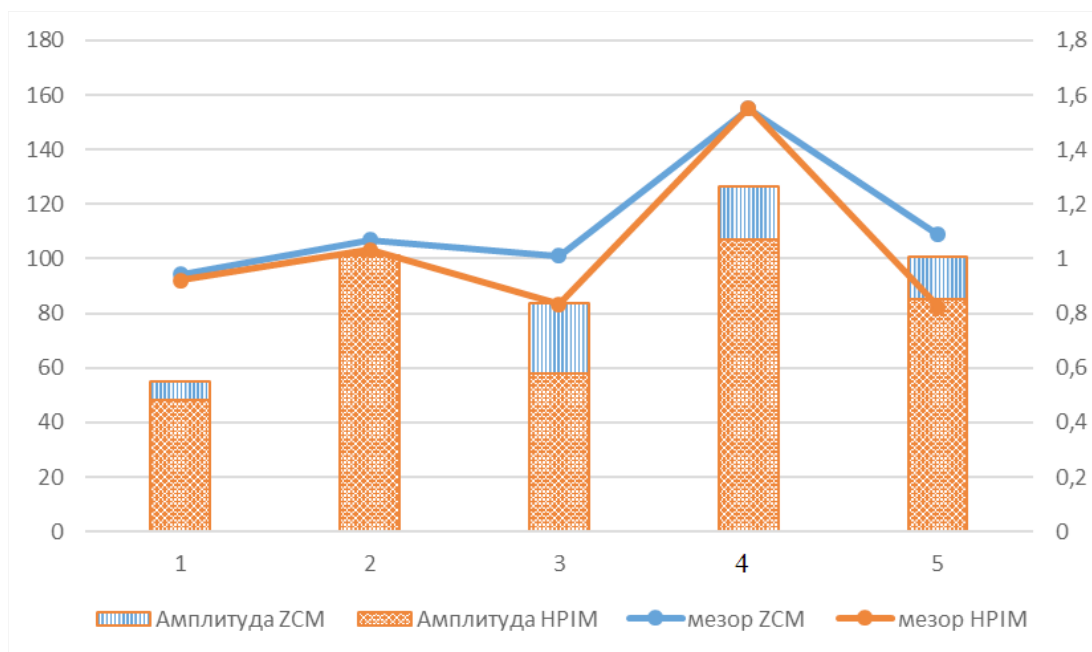
Согласно косинор-анализу мезор получаемого уровня света составляет  $0,902 \pm 0,037$  отн.ед., в день с поездкой и пешими походами на БАО мезор составил 1,55 отн.ед. Амплитуда 24-часового цикла освещенности также становится намного более выраженной, и акрофаза цикла приближается к естественной, к 12 часам, небольшое отличие объясняется, по-видимому, вечерним временем, которое испытуемые провели в городских условиях с электрическим освещением. Выраженность и статистическая достоверность суточного цикла освещенности также приобретают свои максимальные значения при пребывании в горах.

Уровень двигательной активности оценивался по показателям ZCM и НРИМ (рис. 1, 2). Показатели мезоров обоих показателей у испытуемых с офисной работой имели максимальные показатели в день похода, однако изменения по НРИМ оказались более значимыми.

Среднесуточные показатели как по ZCM, так и по НРИМ имели максимумы в день похода, при этом разница в показателях НРИМ оказалась более выраженной, в то время как амплитуда су-

точного ритма отразила наибольшие изменения именно по параметру ZCM (рис.1).

Сравнение хроноструктурных параметров суточного ритма НРИМ групп испытуемых, ведущих малоподвижный образ жизни, с испытуемыми из группы фитнеса, в обычные рабочие дни показали высокое влияние эокофитнеса на четкость, выраженность и согласованность суточного ритма. Мезор суточного ритма двигательной активности людей, ведущих активный образ жизни по НРИМ, составляет  $78704.53 \pm 22499.9$ , что существенно превышает ( $p < 0.05$ ) таковые значения у людей, ведущих образ жизни «офис-квартира» (табл. 1). Положительное влияние на структуру циркадианных ритмов при эокофитнесе оказывает, помимо физической активности, естественный свет, интенсивность которого намного выше искусственного (табл. 1, 2). Полученные данные коррелируют с данными [17], где офисные работники с окнами на рабочем месте по сравнению с группой без окон имели большую освещенность в течение рабочей недели, тенденцию к большей физической активности и большую продолжительность сна.



По оси абсцисс – дни

**Рисунок 1** – Показатели актиграфии в день горного похода, а также в предшествующие и последующие дни испытываемой АБ\*, с малоподвижным образом жизни

**Таблица 2** – Хроноструктурные показатели НРІМ у нетренированных и тренированных туристов

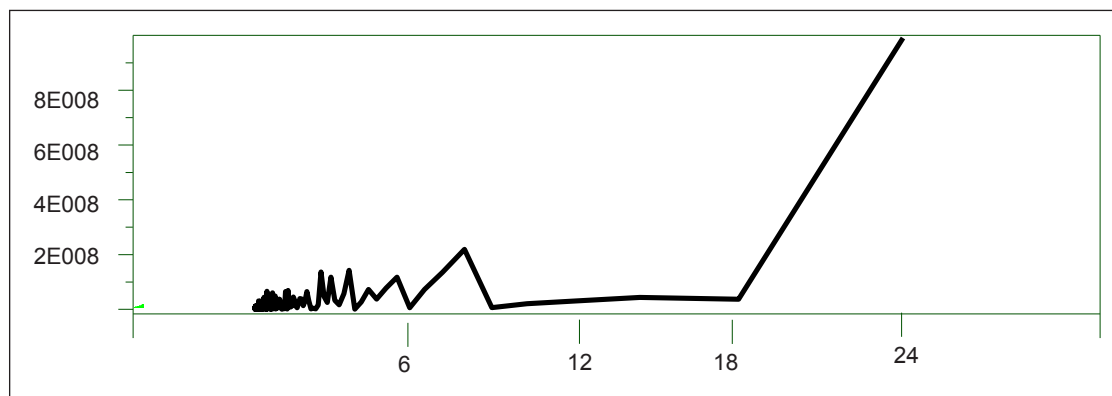
	Мезор		Амплитуда ЦР		Акрофаза ЦР	
	Нетренированные туристы	Фитнес-группа	Нетренированные туристы	Фитнес-группа	Нетренированные туристы	Фитнес-группа
Обычные дни	38760.91 ± 5547.065*	78704.53 ± 22499.9*	34886.81 ± 14372.29*	65199.51 ± 22888.49*	16:17± 01:55*	12:55± 02:18*
Поход в горы	78622.67*	128002.5*	85050.56*	112281.7*	13:33:53*	13:38:05*

Примечание: \* – p<0.05

При походе в горы разница в мезорах также существенна (табл. 2), что объясняется разностью в физической работоспособности и тренированности испытуемых в этих группах. Амплитуда циркадианного ритма также значительно более высокая в группе экофитнеса, однако акрофазы суточного ритма выравниваются, что связано с сильным влиянием естественного света на циркадианный пейсмейкер [18]. В горах в общем спектре солнечного света коротковолновая часть, к которому меланопсин, запускающий механизм ЦР, наиболее чувствителен [14], имеет более высокую долю по сравнению с низелещим городом, экранированным

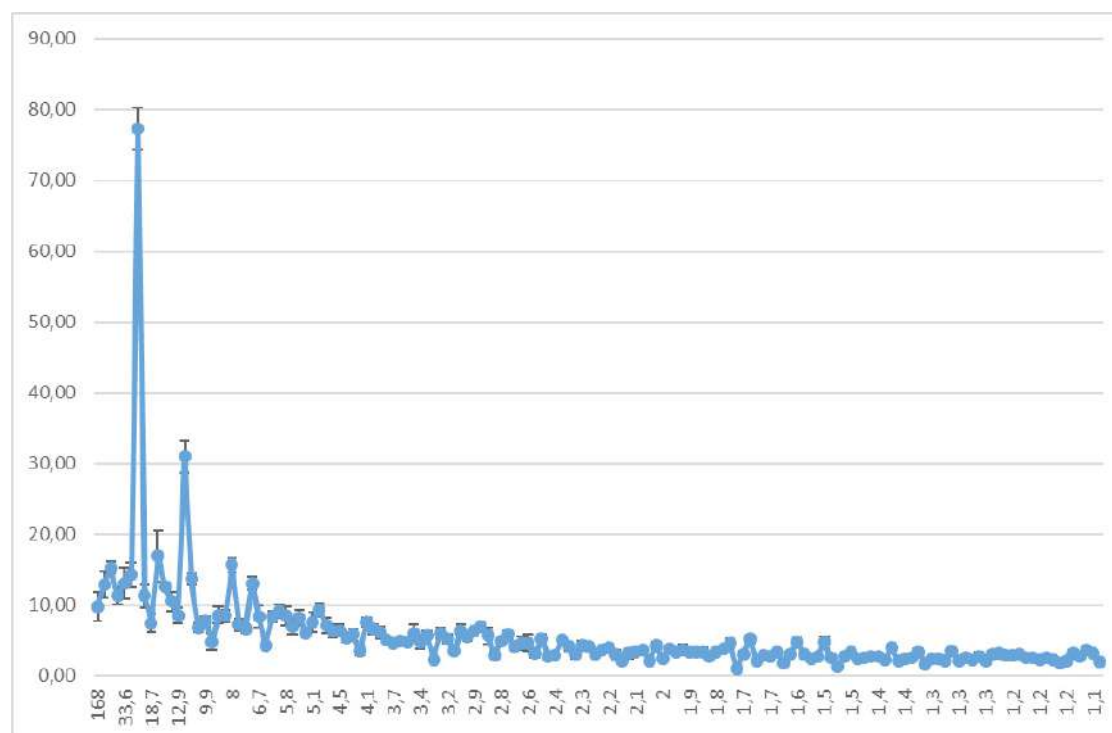
как большим слоем атмосферного воздуха, так и смогом [19].

Спектральный анализ Фурье выявил доминирование суточного 24-часового ритма (рис.2), также выделяется в ритме двигательной активности 8-часовой ритм. Спектральный анализ данных колебаний НРІМ, выполненный по методу наименьших квадратов [20], для группы людей, не занимающихся никакими видами фитнеса, ведущими обычный малоподвижный жизни, также показал высокую достоверность 24-часового ритма и его максимальную амплитуду, также выделяется 12-часовой ритм (рис. 3), ритм с периодичностью 16,8 часа.



По оси абсцисс – периоды, в часах, по оси ординат – спектральная плотность соответствующего временного периода.

**Рисунок 2** – Спектральный анализ Фурье двигательной активности (HRIM) одной из испытуемых с малоподвижным образом жизни (AB\*)



**Рисунок 3** – Данные спектрального анализа (по методу наименьших квадратов) колебаний HRIM испытуемых, ведущих малоподвижный образ жизни

Амплитуда циркадианного суточного ритма испытуемых из группы экофитнеса также намного более выражена в группе фитнеса в обычные дни, что свидетельствует о более высокой надежности и структурированности суточного ритма [9, 10] у испытуемых данной группы. Акрофаза циркадианного ритма двигательной активности у испытуемых из группы экофитнеса

намного более близка к акрофазе светового цикла день-ночь, и существенно сдвинута на более позднее время у испытуемых из группы с малоподвижным образом жизни (табл. 2).

Пребывание в горах и пешие прогулки по пересеченной местности вызвали увеличение продолжительности ночного сна у всех испытуемых. В обычные дни продолжительность сна

у испытуемых в группе без фитнеса составила 7 часов 29 мин  $\pm$  25 мин, в то время как после пеших прогулок по горной пересеченной местности она составила 9 ч  $\pm$  30 мин ( $p < 0.01$ ). У тренированных женщин продолжительность сна в целом ниже, составляя 5 ч 46 мин  $\pm$  20 мин, но она также повышается после экофитнеса до 6 часов 10 мин  $\pm$  10 мин ( $p < 0.05$ ). Сходные результаты были показаны американскими исследованиями, проведенными при помощи системы опросов ATUS. Именно спящие короче среднего ( $< 7,5$  ч) тратили больше времени на общение, отдых и участие в досуге, в то время как короткие ( $< 5,5$  ч), так и длинные ( $\geq 8,5$  ч) смотрели телевизор больше, чем среднеспящие. Степень, в которой время сна обменивалось на бодрствующую активность, также была показана в зависимости от возраста и пола. Время сна было минимальным, в то время как время работы было максимальным в возрастной группе 45-54 года, и время сна увеличивалось как с более низким, так и с более старшим возрастом [21].

Помимо определения времени начала и окончания сна, СХЯ (супрахиазные ядра гипоталамуса) модулируют поведение во время бодрствования циркадным способом, что отражается в субъективной и физиологической сонливости, поведенческой настороженности и ряде фундаментальных когнитивных функций, включая бдительное внимание, психомоторную и перцептивную когнитивную скорость и рабочую память [22]. Выработка мелатонина, одного из наиболее важных гормонов, влияющих на сон и бодрствование, строго контролируется СХЯ и модулируется под действием света, так что свет резко подавляет выработку мелатонина осе-зависимым образом [23]. Известно, что двухчасовое воздействие синего света (460 нм) вечером подавляет мелатонин, причем максимальный эффект подавления мелатонина достигается при самых коротких длинах волн (424 нм, фиолетовый) [22]. Однако в нашем эксперименте воздействие искусственных источников света вечером, по возвращении в город, практически не повлияло на фазы циркадианных ритмов, т.е., захватывание ритмов естественной солнечной радиацией в горах оказалось весьма устойчивым. Такое устойчивое восстановление естественной хроноструктуры ритма двигательной активности и цикла сон-бодрствование проявилось для всех испытуемых, причем в группе нетренированных

туристов, имеющих наиболее разбалансированные ритмы, это воздействие также было более значимым.

### Заключение

Таким образом, занятия экофитнесом оказывают заметное стимулирующее влияние на все хроноструктурные параметры циркадианного ритма двигательной активности как тренированных, так и нетренированных лиц. Кроме того, походы в горы также оказывают влияние на продолжительность сна, что следует учитывать при дальнейших исследованиях влияния гор на физиологическое состояние организма туристов и спортсменов.

### Конфликт интересов (Мүдделер қақтығысы, Conflict of interest)

Все авторы прочитали и ознакомлены с содержанием статьи и не имеют конфликта интересов.

### Источник финансирования (Қаржыландыру көзі, Funding)

Работа выполнена при поддержке гранта МОН РК № AP05133311 «Изучение хронофизиологических механизмов адаптации сердечно-сосудистой системы человека к социально-экологическим и абиотическим факторам окружающей среды»

### Сокращения и обозначения:

ZCM – zero crossing mode, количество сигналов акселерометра, пересекающих 0 за каждый период времени; HPIM – High Proportional Integrative measures, высокопропорциональные интегративные измерения, отражающие интенсивность движений; PIM – proportional integration mode, площадь под кривой с добавлением этого размер для каждого периода времени; БАО – Большое Алматинское озеро; ATUS – The American Time Use Survey. Американское исследование использования времени (ATUS) измеряет количество времени, которое люди проводят за различными видами деятельности, такими как оплачиваемая работа, уход за детьми, волонтерство и общение.

## Литература

- Adamu B., Sani M.U., Abdu A. Physical exercise and health: a review // Niger J Med. – 2006. – Vol. 15, No 3. – P. 6-190.
- Суслов Ф.П., Гиппенрейтер Е.Б., Холодов Ж.К. Спортивная тренировка в условиях среднегорья // РГАФК. – М., 1999. – С. 202.
- Imray C., Wright A., Subudhi A., and Roach R. Acute mountain sickness: pathophysiology, prevention, and treatment // Prog. Cardiovasc. Dis. – 2010. – Vol. 52. – P. 467-484.
- Алиев М.А. Гипертония и горный климат. – Фрунзе: Илим, 1966. – С.186.
- Kubincová A., Takáč P., Kendrová L., Joppa P., Mikuláková W. The Effect of Pulmonary Rehabilitation in Mountain Environment on Exercise Capacity and Quality of Life in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) and Chronic Bronchitis // Med Sci Monit. – 2018. – Vol. 12. – P. 6375-6386.
- Kanayama H., Kusaka Y., Hirai T., Inoue H., Agishi Y., Schuh A. Climatotherapy in Japan: a pilot study // Int J Biometeorol. – 2017. – Vol. 61, No 12. – P. 2141-2143.
- Ryan B.J., Wachsmuth N.B., Schmidt W.F., Byrnes W.C., Julian C.G., et al. Altitude Omics: Rapid Hemoglobin Mass Alterations with Early Acclimatization to and De-Acclimatization from 5260 m in Healthy Humans // PLoS ONE. – 2014. – Vol. 9, No 10. – e108788.
- Dietz T.E., Hackett P.T. High-Altitude Medicine // Travel Medicine (Fourth Edition). – 2019. – P. 387-400.
- Roenneberg T., Merrow M. Circadian clocks – the fall and rise the physiology // Nature Reviews Molecular Cell Biology. – 2006. – Vol. 6. – P. 965-971.
- Гумарова Л.Ж. Хронофизиологические аспекты адаптации к стрессу: монография // Қазақ университеті, Алматы. – 2018. – С. 172.
- Питтендрих К. Циркадианные системы: захватывание. // Биологические ритмы. – М.: Мир, 1984. – Т.1. – С. 87-124.
- Waterhouse J., Folkard S., Minors D. Physiology of circadian rhythms. // 31 International Congr. Physiol. Sciences. – 1989. – P.457.
- Ашофф Ю. Свободнотекущие и захваченные ритмы // Биологические ритмы. – М.: Мир, 1984. – Т.1. – С. 54-68.
- Jazi al Enezi, Victoria L. Revell, Timothy Brown, et al. «Melanopic» Spectral Efficiency Function Predicts the Sensitivity of Melanopsin Photoreceptors to Polychromatic Lights. // Journal of Biological Rhythms. – 2011. – Vol. 26, No 4. – P. 23-314.
- Blumthaler M. Solar Radiation of the High Alps // Plants in Alpine Regions. – 2012. – P.11-20.
- Rong-Chi Huang. The discoveries of molecular mechanisms for the circadian rhythm: The 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine // Biomedical Journal. – 2018. – Vol. 41, No 1. – P. 5-8.
- Boubekri M., Cheung I.N., Reid K.J., Wang C.H., Zee P.C. Impact of Windows and Daylight Exposure on Overall Health and Sleep Quality of Office Workers: A Case-Control Pilot Study // Journal of clinical sleep medicine. – 2014. – Vol. 10, No 6. – P. 603-611.
- Golombek D.A., Rosenstein R.E. Physiology of circadian entrainment // Physiol. Rev. – 2010. – Vol. 90, No 3. – P. 1063-102.
- Popov A.A., Gavrilo N.M., Andreev A.B., Pogoreltsev A. I. Interannual dynamics in intensity of mesoscale hydroxyl night-glow variations over Almaty // Solar-terrestrial physics, – 2018. – Vol. 4, No 2. – P. 63-68.
- Refinetti R., Cornelissen G., Halberg F. Procedures for numerical analysis of circadian rhythms // Biological Rhythm Research. – 2007. – Vol. 38, No 4. – P. 275-325.
- Basner M., Fomberstein K.M., Razavi F.M., Banks S., William J.H., Rosa R.R., Dinges D.F. American Time Use Survey: Sleep Time and Its Relationship to Waking Activities // Sleep. – 2007. – Vol. 30, No 9. – P. 1085–1095.
- Goel N., Basner M., Rao H., Dinges D.F. Circadian rhythms, sleep deprivation, and human performance // Progress in Molecular Biology and Translational Science. – 2013. – Vol. 119. – P. 155-190.
- Zeitler J.M. Control of Sleep and Wakefulness in Health and Disease // Progress in Molecular Biology and Translational Science. – 2013. – Vol. 119. – P. 137 – 154.

## References

- Adamu B., Sani M.U., Abdu A. (2006) Physical exercise and health: a review. Niger J Med., vol. 15, no. 3, pp. 190-6.
- Aliyev M.A. (1966) Gipertoniya i gornyi klimat [Hypertension and mountain climate]. Frunze: Ilim, p.186.
- Aschoff J. (1984) Svobodnotekushiy i zahvachennyiy ritmy [Freerunning and entrained rhythms]. Biological rhythms. M. Mir., vol. 1, pp. 54-68.
- Basner M., Fomberstein K.M., Razavi F.M., Banks S., William J.H., Rosa R.R., Dinges D.F. (2007) American time use survey: Sleep time and its relationship to waking activities. Sleep, vol. 30, no. 9, pp. 1085–1095.
- Blumthaler M. (2012) Solar radiation of the high Alps. Plants in Alpine Regions, pp. 11-20.
- Boubekri M., Cheung I.N., Reid K.J., Wang C.H., Zee P.C. (2014) Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: A case-control pilot study. Journal of Clinical Sleep Medicine, vol. 10, no. 6, pp. 603–611.
- Dietz T.E., Hackett P.T. (2019) High-altitude medicine. Travel Medicine (Fourth Edition), pp. 387-400.
- Goel N., Basner M., Rao H., Dinges D.F. (2013) Circadian rhythms, sleep deprivation, and human performance. Progress in Molecular Biology and Translational Science, vol. 119, pp. 155-190.
- Golombek D.A., Rosenstein R.E. (2010). Physiology of circadian entrainment. Physiol. Rev., vol. 90, no. 3, pp.1063-102.
- Gumarova L. Zh. (2018) Hronofiziologicheskiye aspekty adaptatsii k stressu [Chronophysiological aspects of adaptation to stress: monograph]. Almaty: Kazak University, pp. 172.

- Imray C., Wright A., Subudhi A., Roach R. (2010) Acute mountain sickness: pathophysiology, prevention, and treatment. *Prog. Cardiovasc. Dis.* vol. 52, pp. 467-484.
- Jazi al Enezi, Victoria L Revell, Timothy Brown, et al (2011) “Melanopic” spectral efficiency function predicts the sensitivity of melanopsin photoreceptors to polychromatic lights. *Journal of Biological Rhythms*, vol. 26, no. 4, pp.314-23.
- Kanayama H., Kusaka Y., Hirai T., Inoue H., Agishi Y., Schuh A. (2017) Climatotherapy in Japan: a pilot study. *Int J Biometeorol.* vol. 61, no. 12, pp. 2141-2143.
- Kubincová A., Takáč P., Kendrová L., Joppa P., Mikuláková W. (2018) the effect of pulmonary rehabilitation in mountain environment on exercise capacity and quality of life in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and chronic bronchitis. *Med Sci Monit.*, vol. 12, no. 24, pp. 6375-6386.
- Pittendrigh K. (1984) Cirkadiannyye sistemy: zahvatyvaniye [Circadian systems: entrainment]. *Biological rhythms. M. Mir.*, vol. 1, pp. 87-124.
- Popov A. A., Gavrilov N. M., Andreev A. B., Pogoreltsev A. I. (2018) Interannual dynamics in intensity of mesoscale hydroxyl nightglow variations over Almaty. *Solar-terrestrial physics*, vol. 4, no. 2, pp. 63-68.
- Refinetti R., Cornelissen G., Halberg F. (2007) Procedures for numerical analysis of circadian rhythms. *Biological Rhythm Research*, vol. 38, no. 4, pp. 275-325.
- Roenneberg T., Merrow M. (2006) Circadian clocks – the fall and rise the physiology. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, – vol. 6, pp. 965-971.
- Rong-Chi Huang (2018) The discoveries of molecular mechanisms for the circadian rhythm: The 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine. *Biomedical Journal*, vol. 41, no. 1, pp. 5-8.
- Ryan B.J., Wachsmuth N.B., Schmidt W.F., Byrnes W.C., Julian C.G., et al. (2014) Altitude omics: Rapid hemoglobin mass alterations with early acclimatization to and de-acclimatization from 5260 m in healthy humans. *PLoS ONE*, vol. 9, no. 10, e108788.
- Suslov F.P., Gippenreiter E.B, Kholodov Zh.K. (1999) Sportivnaya trenirovka v usloviyah srednegotya [Sports training in conditions of middle mountains]. – M.: FoRNI, RGAFK, p. 202.
- Warterhouse J., Folkard S., Minors D. (1989) Physiology of circadian rhythms. 31 International Congr. Physiol. Sciences. Helsinki, p.457.
- Zeitler J.M. (2013) Control of sleep and wakefulness in health and disease. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, vol. 119, pp. 137 – 154.

**Бигалиев А.<sup>1</sup>, Бекманов Б.<sup>2</sup>, Шимшиков Б.<sup>1</sup>,  
Кожаметова А.<sup>1</sup>, Адилова Л.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>НИИ общей генетики и цитологии МОН РК, Казахстан, г. Алматы

<sup>3</sup>Национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова, Казахстан, г. Алматы

\*e-mail: [aitkhazha@gmail.com](mailto:aitkhazha@gmail.com)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА БИОТУ**

Техногенные факторы, усиливая действие всех элементарных эволюционных процессов, могут приводить к качественным преобразованиям генофонда популяций. Популяционные и экспериментальные исследования позволили установить ранее неизвестный факт, что комплексы почвенных животных при хроническом облучении дозами порядка 0,5–20 мSv/сутки испытывают четко регистрируемое угнетение. В этом плане в наших исследованиях особенно чувствительными к действию радиации оказались кольчатые черви (*Polyheta's*), почвенные (*Eisenia fetida*) и морские (*Nereis diversicolor*). Установлено, общий уровень суммарной радиоактивности исследуемых тест-объектов превышает фоновый уровень  $\beta$ -излучения. Частота клеток с абберациями хромосом в клетках костного мозга грызунов из зоны исследования превышает спонтанный уровень в 1,5–2,5 раза. Выявлены как структурные (хромосомные абберации) мутации, так и изменения числа хромосом (анеуплоидия). Среди клеток с нарушениями структуры хромосом преобладали абберации хромосомного типа (67,04%) над хроматидными (32,95%), что указывает на преимущественное радиационное воздействие. Изучение хромосомных и генных мутаций у природных популяций приобретает особое практическое и теоретическое значение в связи с влиянием факторов изменяющейся среды обитания. Поэтому важным элементом комплекса работ по оценке степени воздействия полигонов на окружающую среду и биоту является проведение эколого-генетических и медико-биологических исследований в регионе.

**Ключевые слова:** радиация, цитогенетика, экология, хромосома, популяция.

**Bigaliyev A.<sup>1</sup>, Bekmanov B.<sup>2</sup>, Shymshikov B.<sup>1</sup>,  
Kozhahmetova A.<sup>1</sup>, Adilova L.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>Scientific research institute of general genetics and cytology of E.Sci.M.RK Kazakhstan, Almaty

<sup>3</sup>S. Asphediyarov national medical university, Kazakhstan, Almaty

\*e-mail: [aitkhazha@gmail.com](mailto:aitkhazha@gmail.com)

## **Study of genetic effects of radiation contaminated territories on biota**

Industrial factors, the forceful action of full elementary evolutionary processes can lead to qualitative transformations of the gene pool of populations. Observations in the field and experiments made it possible to establish a previously unknown fact that complexes of soil animals with chronic irradiation with doses of the order of 0,5–20 mSv/day experience clearly recorded oppression. Especially sensitive are earthworms *Eisenia fetida*. Among the cells with chromosome structure disorders, chromosomal type aberrations (67,04%) over chromatid (32,95%) prevailed, which indicates a predominant radiation exposure. The study of chromosomal aberrations in natural populations and the human body acquires a special practical and theoretical significance in connection with the influence of factors of the changing habitat. But, an important element of the set of works to determine the degree of impact of the activities of radiation contaminated territory on the environment and public health is the conduct of ecological-genetic and medical-biological research in the region. The purpose of this publication – on the basis of scientific research results to analyze the current state on the habitat of radiation-contaminated territories and the evaluation their genetically consequence of animal and human body.

**Key words:** radiation, cytogenetic, ecology, chromosome, population.

Бигалиев А.<sup>1</sup>, Бекманов Б.<sup>2</sup>, Шимшиков Б.<sup>1</sup>,  
Кожаметова А.<sup>1</sup>, Адилова Л.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>2</sup>Жалпы генетика және цитология ғылыми-зерттеу институты, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>3</sup>С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті, Қазақстан, Алматы қ.  
\*e-mail: aitkhazha@gmail.com

### Радиациялық ластанған аймақтардың биотаға генетикалық әсерін зерттеу

Техногенді факторлар барлық элементарлы эволюциялық факторлардың (мутациялық процесс, миграция, оқшаулану және т.б.) әрекетін күшейте отырып, популяция генофондының сапалы өзгерістеріне алып келуі мүмкін. Экожүйеде бақылау мен тәжірибелер бұрын белгісіз болған жайтты анықтайды, яғни топырақтағы жануарларын 0,5-20 mSv/тәулігіне мөлшерде радиациямен созылмалы әсер еткен кезде анық байқалатын әсерге ұшырағаны байқалады. Әсіресе жауын құрттары сезімтал болып келеді. Зерттелген тест-жүйелердегі радиоактивтіліктің жалпы деңгейін зерттеу нәтижесінде теңіз құрты *Nereis diversicolor* мен топырақтағы *Eisenia fetida* буылтық құрттарында β-сәулеленудің фондық деңгейінің артқаны анықталған. Хромосома құрылымы бұзылған клеткалар арасында хроматидтіге (32,95%) қарағанда хромосомды типті (67,04%) аберрациялар басым болды. Бұл көрсеткіш радиациялық әсердің жоғары екенін дәлелдейді. Қазіргі кезде табиғи популяциялар мен адам ағзасындағы хромосомалық аберрацияларды зерттеу құбылмалы тіршілік ортасының факторлары әсеріне байланысты ерекше практикалық және теориялық маңызға ие болып отыр. Сондықтан, қоршаған орта мен тұрғындар денсаулығына радиациялық ластанған аймақтардың әсер ету деңгейін анықтау кезінде аймақта эколого-генетикалық және медико-биологиялық зерттеулер жүргізу маңызды болып есептеледі. Жұмыстың мақсаты – жасалған жұмыстарының нәтижелері негізінде радиациялық ластанған аймақтардың тіршілік ортасының заманауи жағдайын зерттеп және тірі организмдерге әсер етуші генетикалық зардапты бағалау.

**Түйін сөздер:** радиация, цитогенетика, экология, хромосома, популяция.

### Введение

В последние полтора десятилетия сформирована актуальность и интенсивно изучается проблема радиационно-индуцированной нестабильности генома. По данным литературы этот феномен заключается в возникновении *de novo* множественных генетических изменений (генных или хромосомных) примерно у 10-30% потомков клеток, выживших после облучения [1-3]. Установлено, что это наблюдается после облучения не только при высоких, но и так называемых малых дозах (200 мЗв и менее) радиации [4, 5].

На сегодняшний день стоят задачи оценки экологической опасности и генетических последствий совместного действия малых доз мутагенов, таких как естественные радионуклиды и тяжелые металлы, оказывающих комплексное воздействие на объекты живой природы. Генетические эффекты сочетанного действия этих факторов, в отличие от других мутагенов, изучены недостаточно, и результаты такого рода исследований довольно противоречивы. Поэтому возникает необходимость изучения последствий хронического воздействия ионизирующих излучений на природные популяции,

чтобы в полной мере оценить эффективность совместного действия факторов радиационной и нерадиационной природы.

Цель настоящей работы – на основании результатов исследований дать оценку современного состояния окружающей среды и биоты на радиационно-загрязненных территориях.

### Материал и методы исследования

В качестве тест-объектов отобраны представители природных популяций с радиационно-загрязненных территорий: доминантные виды животных – большая песчанка *R. opimus*, гидробионты – рыбы, моллюски, насекомые, полихеты – морской червь *Nereis diversicolor* и дождевые черви *Eisenia fetida*. Проведены полевые и лабораторные исследования современными физико-химическими (АА-спектрометрия, радиологическими), цитогенетический (метафазный анализ хромосом) и молекулярно-генетическими (ДНК анализ (RAPD, ISSR) [6-8] методами с использованием комплекса тест-систем для оценки эффективности совместного действия техногенных факторов. Изучены количественные показатели индуцированных радиацией хромосомных и геномных мутаций в клетках



костного мозга мелких грызунов. Хромосомный анализ и фотографирование проводили под микроскопом (MicroOptix, Австрия, 2013 год); статистическую обработку полученных результатов общепринятыми методами биологической статистики. При отборе проб почвы, воды, образцов, животных использованы стандартные методы [9-11].

### Результаты исследования и обсуждение

Первоначально дана характеристика экосистем зоны исследования (гамма съемка, фотографирование и визуальная оценка территории). Исследования проведены на видах, отобранных из природных популяций зоны исследования (определение суммарной активности

$\beta$ -излучения и количественного содержания  $\gamma$ -излучающих радионуклидов в тест-объектах). Из данных литературы известно, что комплексы почвенных животных при хроническом облучении дозами порядка 0,05–0,2 мЗв/сутки испытывают четко регистрируемое угнетение [12, 13]. Впервые получены данные, что особенно чувствительными являются дождевые черви [14]. Уровень  $\gamma$ -излучения определяли в полевых условиях с помощью портативного дозиметра (РКС-01 «СТОРА-ТУ», Россия, 2014 г.) (таблица 1), а активность  $\beta$ -излучения тест-объектов в лаборатории радиологических исследований Научного центра Республиканской Санитарно-эпидемиологической службы и мониторинга (НЦ РСЭС и мониторинга), город Алматы.

**Таблица 1** – Результаты измерений гамма-излучения обследуемой территории

№ точки измерения	Координаты		Значение МЭД в мкЗв/ч
№1	43°43'18.7»С	51°10'29.3»В	0.13
№2	43°43'19.1»С	51° 9'45.3»В	0.12
№3	43°43'18.9»С	51° 8'58.7»В	0.11
№4	43°43'18.9»С	51° 8'13.6»В	0.12
№5	43°43'18.7»С	51° 7'28.8»В	0.12
№6	43°43'19.1»С	51° 6'44.3»В	0.11
№7	43°43'19.0»С	51° 5'59.9»В	0.09
№8	43°42'0.5»С	51°13'31.2»В	0.12
№9	43°41'34.6»С	51°13'57.3»В	0.13
№10	43°41'06.3»С	51°14'26.0»В	0.17
№11	43°40'21.0»С	51°14'47.3»В	0.66
№12	43°40'10.9»С	51°15'20.6»В	0.14-0.19
№13	43°39'42.9»С	51°15'50.1»В	0.08-0.10
№14	43°39'17.7»С	51°16'19.9»В	0.08-0.12
№15	43°38'52.0»С	51°16'47.7»В	0.11-0.13
№16	43°43'08.5»С	51°14'2.7»В	0.11
№17	43°43'18.7»С	51°14'47.6»В	0.10
№18	43°43'18.9»С	51°15'30.8»В	0.15
№19	43°43'19.2»С	51°16'10.4»В	0.13
№20	43°43'18.3»С	51°17'18.2»В	0.12
№21	43°43'18.4»С	51°18'3.7»В	0.10

Исследуемый район характеризуется незначительным уровнем радиационного фона, среднее значение МЭД в целом по району составляет 0,14 мкЗв/ч. Абсолютный максимум

– 0,66 мкЗв/ч – зарегистрирован в точке № 11 территория завода ГХМЗ, г. Акта. В результате определения общего уровня суммарной радиоактивности у исследуемых тест-объектов

отмечается превышение фонового уровня  $\beta$ -излучения у представителей кольчатых червей – *Nereis diversicolor* и *Eisenia fetida* морские

черви отобраны с прибрежной зоны акватории Каспия, дождевые черви также с прибрежной зоны (таблица 2).

Таблица 2 – Суммарный уровень  $\beta$ -излучения тест-объектов

Название пробы	$\beta$ -излучение, 1/мин*см <sup>2</sup>	Название пробы	$\beta$ -излучение, 1/мин*см <sup>2</sup>	Название пробы	$\beta$ -излучение, 1/мин*см <sup>2</sup>
Лещ	0,88±0,003	Перловица	0,86±0,004	Слепни	1,24±0,005
Судак	1,41±0,007	Дрейсена	0,86±0,003	Дождевые черви	8,81±0,021
Берш	1,42±0,007	Нереис	6,24±0,021	ПДК	5
Примечание: в качестве контроля взят общепринятый естественный радиационный фон – 0,16 мкРентген/час					

Эти результаты в основном совпадают с данными по абсолютным показателям количества  $\gamma$ -излучающих радионуклидов и суммарной радиактивности в тест-объектах. В наших исследованиях результаты всех измерений выше или близки к ПДК за исключением цезия-137 (таблица 3).

Как видно из данных таблицы 3, концентрация цезия-137 во всех тест-объектах значительно ниже ПДК (взята ПДК для рыбохозяйственных водоемов). Содержание калия-40 в моллюсках и слепнях меньше ПДК, а в остальных организмах – существенно больше. Содержание радия-226 и тория-232 в тканях моллюсков перловицы, дрейсены находятся в пределах ПДК. Следовательно, из всех исследованных видов рыб судак накапливает относительно меньше ( $P > 0,05$ ) радионуклидов, хотя как активный хищник этот вид должен

получать с пищей больше радионуклидов. По-видимому, низкая концентрация радионуклидов у данного тест-объекта связана с особенностями механизмов выведения из организма. Среди беспозвоночных количество исследуемых радионуклидов (кроме цезия) существенно выше ПДК у видов более тесно контактирующих с почвой и грунтом: дождевого червя *Eisenia fetida* и морского червя *Nereis diversicolor*. Радионуклиды оседают и накапливаются на дне и в прибрежной почве, откуда они и попадают с пищей в организм вышеуказанных видов [14,15]. Наличие высоких концентраций радия-226 в исследуемых объектах объясняется еще и наличием данного изотопа во всех горных и осадочных породах. Соответственно, этот радионуклид всегда сопутствует загрязнению добывающей промышленности [15,16].

Таблица 3 – Содержание  $\gamma$ -излучающих радионуклидов в тест-объектах

Тест-объекты	Содержание радионуклидов, Бк/кг			
	Cs-137	Ra-226	Th-232	K-40
Лещ	64,5±0,5; $P > 0,05$	155±0,4; $P < 0,05$	119±0,5; $P < 0,05$	1296±12,3; $P < 0,05$
Судак	63±0,4; $P > 0,05$	123±0,4; $P < 0,05$	70±0,4; $P > 0,05$	1124±12,4; $P < 0,05$
Берш	65±0,4; $P > 0,05$	164±0,5; $P < 0,05$	124±0,4; $P < 0,05$	1300±11,9; $P < 0,05$
Перловица	109±0,5; $P > 0,05$	31±0,3; $P > 0,05$	43±0,4; $P > 0,05$	625±9,9; $P > 0,05$
Дрейсена	76±0,3; $P > 0,05$	32±0,5; $P > 0,05$	45±0,4; $P > 0,05$	624±9,8; $P > 0,05$
Нереис	111±0,5; $P > 0,05$	100±0,3; $P > 0,05$	100±0,3; $P > 0,05$	850±9,8; $P < 0,05$
Дожд. черви	125±0,4; $P < 0,05$	185±0,6; $P < 0,05$	169±0,5; $P < 0,05$	1332±12,5; $P < 0,05$
Слепни	89±0,5; $P > 0,05$	29±0,4; $P > 0,05$	40±0,3; $P > 0,05$	594±12,3; $P > 0,05$
ПДК	370	32	45	700

На основании данных по содержанию радиоизотопов в организме гидробионтов можно судить о неблагоприятной радиационной обстановке в прибрежной зоне Каспия. Особое опасение вызывают большие концентрации радионуклидов в дождевых червях, что говорит о радиационной загрязненности почвы исследуемой территории. Соответственно, можно предположить поступление радионуклидов в продукты питания населения области не только с промысловыми рыбами, но и по следующей цепочке: почва – растения – домашние животные – мясные и молочные продукты [12,17].

При оценке воздействия факторов, загрязняющих среду обитания, на здоровье человека особое значение придается ионизирующей радиации, так как все типы радиации вызывают хромосомные aberrации в зародышевых и соматических клетках человека [18]. Химические соединения также вызывают в той или иной степени структурные нарушения хромосом (по данным базы данных комитета ЮНЕСКО FOOD на начало XXI века свыше 60 000 синтезированных химических веществ используются сельхозпроизводителями и включаются в пищевые цепи [19-21].

Цитогенетический анализ проводили у грызунов, отловленных на территориях, подверженных влиянию нефтяного загрязнения, в составе которых присутствуют сопутствующие нефти радионуклиды и тяжелые металлы. Кариотип большой песчанки (*Rhombomys opimus*) состоит из 40 хромосом (рисунок 1). 8 хромо-

сом – крупные субметацентрические или метацентрические. 15 пар хромосом по размерам уменьшаются постепенно и по форме являются субметацентриками или метацентриками. Одна пара хромосом – самая наименьшая по размерам и по морфологии они являются акроцентрическими хромосомами.

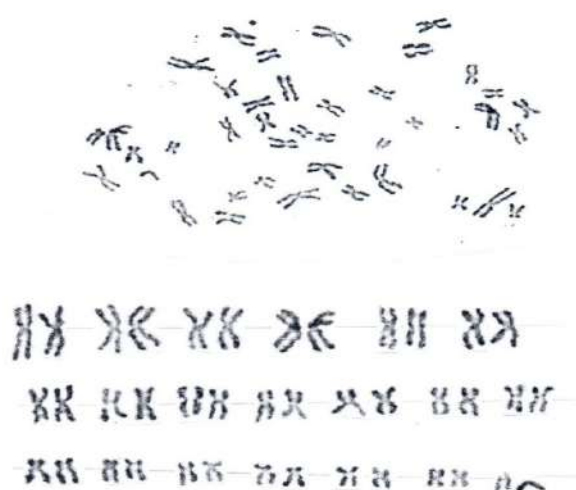


Рисунок 1 – Кариотип большой песчанки (2n=40)

Кариотип *Rhombomys opimus*, обитающего на территории хвостохранилища и подверженного техногенному воздействию, составлен авторами. Результаты исследования цитогенетического анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Цитогенетические нарушения в клетках костного мозга *Rhombomys opimus*

Варианты	Число животных	Изучено метафаз	Из них			
			Гипо-гипердиплоидия	Полиплоидия	Аберр. хромосом. абс.	% абер-нт. клеток (M <sup>+</sup> m)
Опыт №1 (контроль)	3	912	-	6	6	2,3 <sup>+</sup> 0,34
Опыт №2	5	849	6	3	9	3,2 <sup>+</sup> 0,42
Опыт №3	4	861	6	6	9	3,5 <sup>+</sup> 0,29
Опыт №4	5	927	6	6	12	3,9 <sup>+</sup> 0,21
Всего		2637	18	15	30	3,5 <sup>+</sup> 0,29

Из данных таблицы 4 следует, что частота клеток с нарушениями хромосом, индуцированными радионуклидами у животных, отловленных с территорий хвостохранилища, примерно в 1,5-2 раза превышает при сравнении с

контрольной группой (это достоверно, так как животные из зоны Прибалхашья, где нет радиоактивного захоронения). Всего исследованного более 2637 метафазных клеток. Анализ спектра хромосомных нарушений приведены ниже на

риунках 2,3. Наряду с хромосомными aberrациями отмечается индукция анеуплоидных клеток, в частности гиподиплоидных, частота которых значительно превышает контроль. Встречаются с одиноковой частотой полиплоидные клетки (рисунок 4), примерно как и у контрольных животных. Проведенный анализ свидетельствует, что загрязнение радионуклидами индуцирует в соматических клетках животных (грызунов), обитающих в зоне Каспия, хромосомные aberrации и геномные мутации в виде нарушений структуры и изменения числа хромосом. Опираясь на полученные результаты, можно полагать, что загрязнение среды обитания представляет реальную угрозу для устойчивости генома биоты и человека. Это и обуславливает необходимость познания механизмов мутагенности радионуклидов, проведение популяционно-генетических исследований оценки реального риска для населения [22,23].

Таким образом, в местах обитания мышевидных грызунов на территориях, прилегающих к хвостохранилищу, мощность эквивалентной дозы гамма-излучения превышает показатели контрольных участков. Активность радионуклидов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в почве, воде и растениях в опытных участках превышает контроль в 2 – 2,5 раза. Величина поглощенной дозы ионизирующего излучения у мышевидных грызунов, обитающих на территориях, прилегающих к хвостохранилищу больше показателей у контрольных животных. Так, частота встречаемости клеток с гиподиплоидным и гипердиплоидным набором клеток костного мозга у большой песчанки превышает контрольные показатели в 1,8 и 3,5 раза. Количество полиплоидных клеток у большой песчанки, отловленной на загрязненных участках, в среднем 1,7 раза больше, чем у контрольных животных. Величина хромосомных перестроек клеток костного мозга у популяции большой песчанки в среднем в 2 раза превышает показатели у контрольных животных, что указывает на хронический характер воздействия ионизирующего излучения. Сравнительный анализ полученных результатов с данными литературы позволяет прогнозировать реальную опасность генетических эффектов на видовом и популяционном уровнях. В частности, несмотря на то, что цитогенетический мониторинг с помощью диких мелких грызунов разных видов широко используется для изучения мутагенного потенциала среды [24, 25]. Максимальные величины изученных цитогенетических показателей были отмечены на сильно загрязненных территориях. У отловленных животных вблизи источни-

ка загрязнения частота хромосомных aberrаций в костном мозге большой песчанки составляет  $(5,03 \pm 1,3)\%$  при  $t=3,83$ ;  $p<0,003$ , что превышает спонтанный уровень в 2,5 раза. Грызуны, обитающие по соседству, на прилегающей территории (с. Акшукыр, с. Мангыстау 1, с. Баскудык, территория завода ГХМЗ) к хвостохранилищу Кошкар-ата действительно обнаруживают индивидуальную вариабельность по цитогенетическому поражению. Уровень цитогенетических нарушений у *R. opimus*, обитающих на прилегающей территории, в 1,5 раза ниже, чем у грызунов с территории хвостохранилища. Так у исследуемых животных прилегающей территории на расстоянии 500 м (пункт 1,2) частота метафазных клеток с aberrациями составила  $(4,97 \pm 1,21)\%$  при  $(t=2,58; p<0,01)$ , то есть в 2,3 раза превышает спонтанный уровень, а пунктах 3,4 (1000 м) –  $(4,05 \pm 1,02)\%$  при  $(t=2,01; p<0,05)$ , в 1,5 раза превышает уровень спонтанных хромосомных мутаций. Это непосредственное влияние, так как животные отловлены с данной территории и подвергались длительное время воздействию малых доз радиации (см. таблицу 2 суммарная доза гамма облучения).

Выявленный в данной работе количественный и качественный состав увеличение частоты цитогенетических нарушений по мере удаления от источника загрязнения в исследуемых пунктах свидетельствует о наличии здесь сильных кластогенных эффектов загрязнителей. Изученные мутагенные факторы радионуклиды, как сопутствующие нефти являются причиной высокой частоты хромосомных мутаций у грызунов (*R. opimus*) обследованных территорий. Однако, трудно однозначно утверждать, какой именно из перечисленных мутагенных факторов окружающей среды вызвал наблюдаемые изменения. Вместе с тем выявленный уровень генетических нарушений у диких грызунов с соответствующей экстраполяцией можно рассматривать как потенциальный мутагенный фактор среды по отношению к людям, населяющим эти районы [26, 27, 28]. На рисунках 2, 3 приведены типы хромосомных и геномных нарушений.

На приведенных метафазных клетках показаны изменения числа и структуры хромосом, т.е. качественные показатели цитогенетического анализа (рисунок 2) терминальной делецией, изменение числа хромосомного набора (гиподиплоидная) и одиночные фрагменты (рисунок 3). Хромосомные перестройки играют важную роль в дивергенции кариотипов и адаптации популяции у многих видов животных и

растений, а также существуют разные мнения о роли хромосомного полиморфизма в природных популяциях [29]. Аберрации хромосом – общепризнанный биомаркер, используемый в целях биологической дозиметрии. Этот метод прекрасно зарекомендовал себя при аварийном облучении. Например, у пациентов, облученных вследствие чернобыльской аварии, дозы уточнялись именно с помощью цитогенетической дозиметрии. Маркером облучения являются дицентрические хромосомы. Таким образом, через митоз они проходят лишь с вероятностью 50%. Каждое последующее клеточное деление также приводит к элиминации половины поврежденных клеток [30, 31].



Рисунок 2 – Метафазная клетка хромосом большой песчанки с терминальной делецией



Рисунок 3 – Метафазная клетка с гиподиплоидным набором хромосом (2n=39)

Результаты рестрикционного анализа геномной ДНК большой полевки. Рестрикционный анализ ДНК любого организма широко используется в молекулярно-генетических исследованиях и является одним из наиболее важных инструментов при изучении эффектов загрязнителей на молекулярном уровне. Многие рестриктазы позволяют проводить расщепление ДНК по более чем 150 сайтам узнава-

ния. Мы провели исследование распределения фрагментов хромосомной ДНК после ее расщепления по сайтам узнавания ряда рестриктаз на примере генома большой песчанки. Получены экспериментальные данные по расщеплению хромосомных ДНК соответствующими эндонуклеазами рестрикции. Первоначально проведены эксперименты по изучению картин рестрикции по расщеплению ДНК грызунов (*R. opimus*-большая песчанка) эндонуклеазами с соответствующими сайтами узнавания. Для этого были выделены ДНК из клеток периферической крови (рисунок 5).

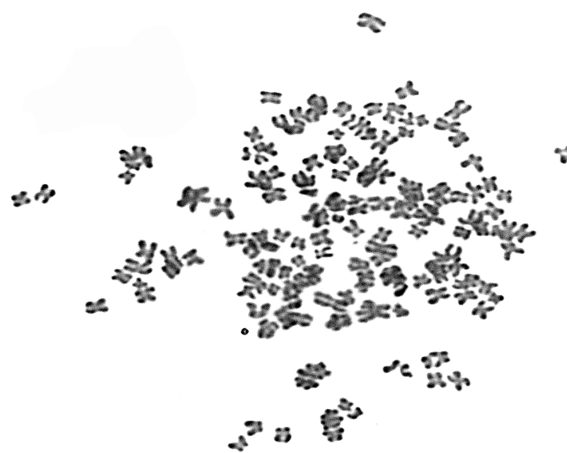
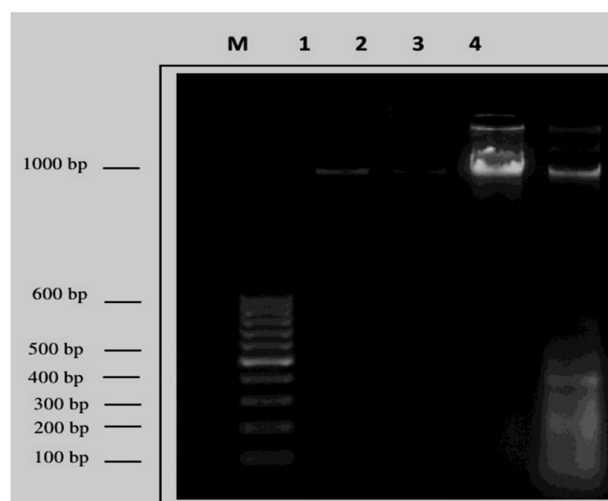


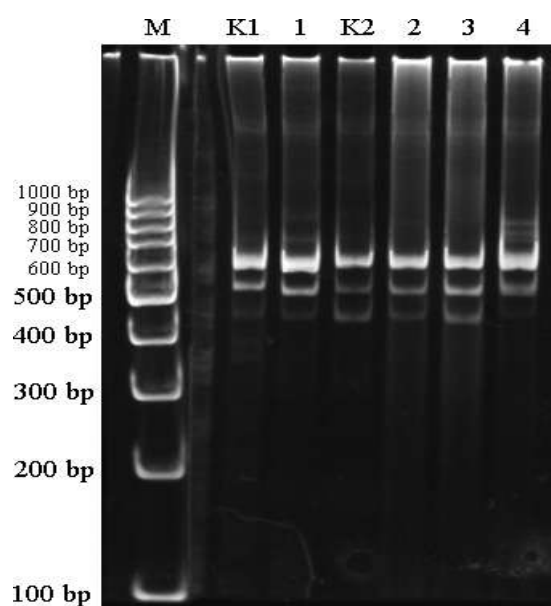
Рисунок 4 – Полиплоидная клетка



М – маркер GeneRuller 100 bp DNA Ladder («Fermentas», Вильнюс, Литва);  
1-4 – образцы геномной ДНК

Рисунок 5 – Электрофореграмма геномной ДНК грызуна (*Rhombomys opimus*-большая песчанка)

Приведенные на рисунке 5 картины рестрикции показывают, что обычный фенол-хлороформный метод, с помощью которого были выделены все ДНК, вполне может быть использован для получения препаратов ДНК, пригодных для рестрикционного анализа *in vitro*. При этом, частичная деградация ДНК, обычно приводящая к размыванию картины рестрикции, в данном случае компенсируется большим числом доминирующих повторов в геномах эукариот. В 2014 году повторно изучено влияние радиоактивного загрязнения на геномную ДНК грызунов, отловленных из зоны исследования. Использован праймер с нуклеотидной последовательностью ОРА-02 (5'-TGCCGAGCTG-3'). Далее результаты проведенного анализа вариабельности случайно амплифицированной ДНК методом RAPD-PCR.



М – ДНК маркер (*GeneRuller 100 kb DNA Ladder*) маркер;  
1-4 – контрольные линии.  
K1 и K2 – материалы из загрязненной территории.

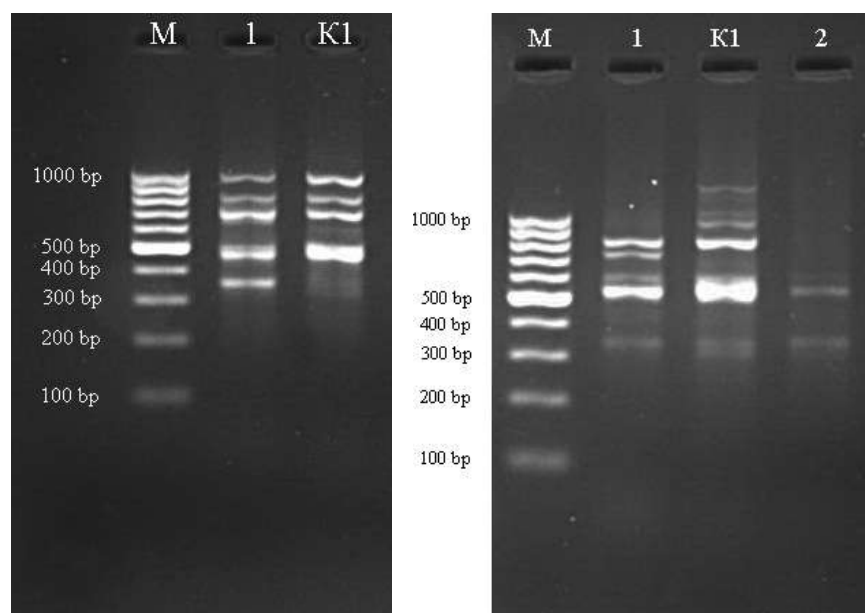
**Рисунок 6** – RAPD-полиморфизм большой песчанки, выявленный с помощью праймера ОРА-02

RAPD-PCR – это ПЦР со случайной амплификацией полиморфной ДНК – используется для изучения изменчивости близких по генетической последовательности организмов, например, разных сортов культурных растений, пород животных или близкородственных микроорганизмов. В этом методе обычно используют один

праймер небольшого размера (около 10 п.н.). Этот праймер может оказаться частично комплементарным случайным участкам ДНК исследуемых организмов. На рисунке 6 видно, что по амплифицированным аллелям во всех линиях нет особых отличий. Это говорит о том, что данные праймеры с нуклеотидной последовательностью ОРА-02 менее информативны. Далее было проведено ПЦР с помощью ISSR-маркеров. При проведении ISSR-анализа для полимеразной цепной реакции (ПЦР) в качестве праймеров использовали два олигонуклеотида, различающихся по нуклеотидному составу: (AG)<sub>9</sub>C и (GA)<sub>9</sub>C (рис. 7).

В результате с использованием этих праймеров были получены многополосные спектры фрагментов ДНК большой песчанки. Число фрагментов ДНК у индивидуальных особей варьировало от 3 до 9. В общей сложности у большой песчанки в популяции г. Актау было выделено 26 отчетливых фрагментов ДНК. По праймеру (AG)<sub>9</sub>C по сравнению из зоны Кошкар-Ата линии у объекта под №1 появилась аллель с размером 350 п.о. А с использованием праймера (GA)<sub>9</sub>C у объекта №1 по сравнению из хвостохаранилища Кошкар-Ата обнаружена аллель размером 750 п.о. У объекта №2 обнаружено всего 3 аллеля. Эти результаты показывают, что с использованием таких маркеров можно характеризовать генетическую структуру популяции большой песчанки.

По данным литературы, исследования молекулярных механизмов появления мутаций позволили сделать обобщения идеи гипотезы обмена, гипотезы разрыв-соединение, данных о роли первичных повреждений ДНК и работе ферментов репарации [29, 30, 31]. Для обоснования молекулярных основ структурного мутагена основополагающее значение имеет идея о потенциальных изменениях в ДНК. Н.П. Дубинин разработал учение о потенциальных повреждениях в свете молекулярных механизмов образования хромосомных aberrаций. Это позволило создать новую концепцию о потенциальном повреждении, реализация которого в мутацию происходит через некоторое время при наличии определенных условий метаболизма в клетке. Полученные нами результаты по учету индуцированных хромосомных aberrаций в клетках костного мозга грызунов, подвергающихся воздействию радиационных факторов среды обитания, а также результаты рестрикционного анализа ДНК этих животных являются подтверждением потенциальных повреждений.



М – ДНК маркер (*GeneRuller 100 kb DNA Ladder*).  
K1 из загрязненной территории. 1-2 – контрольные линии

**Рисунок 7** – ISSR-спектр большой песчанки (*Rhombomys opimus*), полученный при амплификации ДНК с праймером (AG)9C и (GA)9C

## Заключение

1. Результаты измерения радиационной активности по гамма-излучению показали, что по периметру хвостохранилища Кошкар-Ата и в близлежащих населенных пунктах уровень радиации в пределах 50-10 мSv/час. **Высокий радиационный фон** на территории и вблизи ХГМЗ – 1730 мSv/час., среднее значение мощности экспозиционной дозы в целом по району составляет 120 мSv/час.

2. Высокая удельная активность по  $^{137}\text{Cs}$  в пробах почвы с населенного пункта Кызыл-Тобе и Sr-90 отмечается в пробах почвы с пунктов Баянды и ХГМЗ, а максимальная удельная активность по  $^{226}\text{Ra}$  в пробах всех населенных пунктов. В почвах хвостохранилища Кошкар-Ата в среднем уровни радиоактивности в несколько раз выше, чем в почвах фонового участка. Соотношение удельной активности  $^{232}\text{Th}$  к  $^{226}\text{Ra}$  находится в диапазоне: в п. Баянды – от 16 к 32.5 Бк/кг; п. Акшукур – от 23 до 39.8; п. Кызыл-Тобе – от 18 до 33,3; п. Мангистау – от 14 до 31. На прилегающей территории, по периметру хвостохранилища, также отмечаются повышенные концентрации указанных изотопов.

3. Впервые получены данные, что превышение фонового уровня  $\beta$ -излучения отмечает-

ся у представителей кольчатых червей – *Nereis diversicolor* и *Eisenia fetida*. Содержание калия-40 в моллюсках меньше ПДК, а в остальных организмах – существенно больше. Содержание радия-226 и тория-232 в тканях перловицы, дрейсены находятся в пределах ПДК; на рыбах количественное содержание радионуклидов не превышает ПДК. Концентрация цезия-137 в организме гидробионтов, взятых в качестве всех тест-объектов, значительно ниже ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

4. Цитогенетические исследования грызунов показывают, что частота клеток с нарушениями хромосом, индуцированные радионуклидами у животных, отловленных с территорий Кошкар-Ата, примерно в 1,5-2 раза превышает при сравнении с контрольной группой. Отмечается также индукция анеуплоидных клеток, в частности гипо- и гипердиплоидные, частота которых значительно превышает контроль. Встречаются полиплоидные клетки примерно с одинаковой частотой, как и у контрольных животных.

5. Получены многополосные спектры фрагментов ДНК большой песчанки. Число фрагментов ДНК у индивидуальных особей варьировало от 3 до 9, что указывает на проявление полиморфизма в условиях антропогенного пресса. Опре-

делены амплифицирующиеся аллели с размером 350 б.р. и 750 б.р. Эти результаты показывают, что с использованием специфических молекулярных маркеров праймеров можно характеризовать генетическую структуру популяции.

## Перечень сокращений, используемых в статье

mSV – millisievert (миллизиверт)  
bp – пары оснований

## Литература

- Дубинин Н.П. и др. Генофонд человека и мутагены окружающей среды // Доклады Академии Наук СССР. Сообщение 1. – 1990. – С.19-31.
- Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии. – Томск: Издательство Томский политехнический университет, 2009. – 428 с.
- Bigaliev A.B. Ecological genetics, publisher “Kazakh Universities”. – 2017. – P.346.
- Яблоков А.В. Неадекватность официальной концепции радиационной защиты в области влияния малых доз // Материалы IV Международной конференции. – Томск. – 4–8 июня 2013. – С.580-587.
- Mosse I., Dubovic B., Kostrova L., Molophei V. Melanin can be used for people protection against chronic irradiation and low radiation doses // 4th International Workshop on Space Radiation Research and 17th Annual NASA Space Radiation Health Investigators’ Workshop, Book of Abstracts. – Dubna, 2006. – P.81.
- Коваленко С. П. Наследственные и соматические мутации как молекулярные маркеры для диагностики и лечения рака молочной железы: автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.01.07 / Коваленко Сергей Петрович. – Новосибирск, 2014. – 35 с.
- Глазко В. И., Гладырь Е. А., Феофилов А. В. ISSR-PCR маркеры и мобильные генетические элементы в геномах сельскохозяйственных видов млекопитающих // Сельскохозяйственная биология. – 2013. – № 2. – С. 71-76.
- Shi A., Kantartzi S., Mmbaga M., Chen P. Development of ISSR PCR markers for diversity study in dogwood (*Cornus spp.*) // Agriculture and biology journal of North America. – 2010. – № 1 (3). – P. 189-194.
- Preston J. K., Dean B. J., Galloway S. Mammalian in vivo cytogenetic assays. Analysis of chromosome aberrations in bone marrow cells. // Mytat.Res. -1987. – Vol. 189. – P. 157-165.
- Lloyd, D.C., Edwards, A.A., Moquet, J.E., Guerrero-Carbajal Y.C. The role of cytogenetics in early triage of radiation casualties // Appl Radiat Isot. – 2000. – Vol. 52, № 11.
- Levan A., Fregda K., Sandberg A.A. Nomenclature for centric position on chromosomes // Hereditas. – 2006. – Vol. 52. – P.201-220.
- Ерошов А. И., Марцель И. Н., Антоненков А. И. Миграция цезия в звене почва – растение – животное // Материалы 12-й международной научной конференции: Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI. (17-18 мая 2012 г., г. Минск, Республика Беларусь). – Минск, 2012. – С. 233-234.
- Bigalyev A.B., Shalabaeva K.Z., Kulumbetov A.K., Jiyenbekov A.K., Adylova L.M., Kozhahmetova A.N., Myrzakhan A.G. and Ishanova N.E. Ecology-genetical evaluation of radiation and chemical pollution (associated with heavy metals) on biota and man. Review. International Journal of research advanced. Impact Factor: 6.118. -Vol 5. – Issue 10. – October 2017. – P.819-825.
- Синтюрина А., Бигалиев А.Б. Особенности аккумуляции радионуклидов гидробионтами и обитателями прибрежной зоны Северо-Каспийского региона // Вестник КазНУ, серия экологическая – 2009. – №1(24). – С.97-100.
- Кожамбетова А.Н., Бигалиев А.Б., Шаметов А.К. Биоиндикационные исследования аккумуляции нефтепроизводных, радионуклидов, тяжелых металлов в организме гидробионтов казахстанской зоны Каспия // Фундаментальные исследования. – 2015. – №2 – С.59-61.
- Шаметов А.К., Кожамбетова А.Н., Бигалиев А.Б. Рекогносцировочное и радиоэкологическое обследование объектов окружающей среды хвостохранилища Кошкар-Ата // Биологические науки. Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12. – С.1938-1941.
- Аверин В.С., Кухтевич А.Б., Васьковцова В.А., Тагай С.А., Царенок А.А., Буздалкин К.Н., Гвоздик А.Ф., Макаровец И.В., Нилова Е. К. Поступление трансураниевых элементов Чернобыльского происхождения в молоко жвачных животных (коров и коз) // Материалы 12-й международной научной конференции: Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI. (17-18 мая 2012 г., г. Минск, Республика Беларусь). – Минск, 2012. – С. 227-228.
- Nordic Study Group. A Nordic data base on somatic chromosome damage in humans. Nordic Study Group on the Health Risk of Chromosome Damage. // Mutation Research. – 1990. – V.241. – № 3. – P.325-337.
- Hagmar L., Stromberg U., Bonassi S., Hansteen I.L., Knudsen L.E., Lindholm C., Norppa H. Impact of types of lymphocyte chromosomal aberrations on human cancer risk: results from Nordic and Italian cohorts// Cancer Research. – 2004. – V. 64. – № 6. – P.2258-2263.
- Agency, I. A. E. (2001) Cytogenetic analysis for radiation dose assessment, Vienna.
- «Ecological and genetic assessment of the impact of the Koshkar-ata tailing dump on the health of the population of adjacent territories», annual scientific report. – Almaty, – 2016. – P.119.
- Шевченко В.А., Асеева Е. А., Снигирева Г. П., Неверова А. Л. Клетки с множественными хромосомными нарушениями в группах лиц, подвергшихся облучению при различных ситуациях, и их возможная биологическая роль // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2000. – Т. 40, №5. – С. 630-639.



Снигирева Г.П. Последствия воздействий ионизирующих излучений: цитогенетические изменения в лимфоцитах крови человека : автореф. дисс. ... д-ра биол. наук : 03.00.01-03 / Снигирева Галина Петровна. – Москва, 2009. – 48 с.

Ломаева М. Г., Васильева Г. В., Фоменко Л. А., Антипова В. Н., Газиев А. И., Безлепкин В. Г. Повышенная вариабельность генома в соматических клетках у потомства самок мышей, подвергнутых острому рентгеновскому облучению в прекоцептивный период // Генетика. – 2011. – Т. 47, №10. – С. 1371-1377.

Кудяшева А. Г., Шишкина Л. Н., Шевченко О. Г., Башлыкова Л. А., Загорская Н. Г. Мониторинг популяций полевок-экономок (*Microtus oeconomus* Pall.), обитающих в условиях повышенного радиационного фона // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2004. – Т. 44, № 3. – С. 262-268.

Костюченко В. А. Радиационно-экологические последствия аварии на Южном Урале : автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.01 / Костюченко Владимир Алексеевич. – М., 2005. – 46 с.

Кострова Л. Н., Молофеев В. П., Моссе И. Б. Влияние водорастворимого меланина на генетические эффекты облучения в половых и соматических клетках мышей // Межд. научн. конф.: От классических методов генетики и селекции к ДНК-технологиям. – Гомель, 2007. – С. 172 – 173.

Кострова Л. Н., Моссе И. Б., Ушакова Д. А., Аношенко И. П. Цитогенетические эффекты углеродных наночастиц в клетках костного мозга мышей // Молекулярная и прикладная генетика. – 2009. – Т. 10. – С.131-135.

Камлюк А. Н., Ширко А. В., Жаворонков И. С. О механизмах определения разрывов, вызванных ионизирующим излучением, в структуре молекулы ДНК // Материалы 12-й международной научной конференции: Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI. (17-18 мая 2012 г., г. Минск, Республика Беларусь). – Минск, 2012. – С. 260-261.

Хандогина Е.К. Изучение генетического контроля радиочувствительности // Генетика. – 2010. – Т. 46, №3. – С. 293-301.

Vaurijoux A., Gruel G., Roch-Lefevre S., Voisin P. Biological dosimetry of ionizing radiation // Current topics in ionizing radiation research. – 2012. – P. 31-50.

## References

Agency I. A. E. (2001) Cytogenetic analysis for radiation dose assessment, Vienna.  
«Ecological and genetic assessment of the impact of the Koshkar-ata tailing dump on the health of the population of adjacent territories», annual scientific report. Almaty, 2016, pp.119.

Averin V.S., Kukhtevich A. B., Vaskovtsova V. A., Tagay S. A., Tsarenok A. A., Buzdalkin K. N., Gvozdik A. F., Makarovets I. V., Nilova E.K. (2012) Postuplenie transuranovykh elementov Chernobyl'skogo proishozhdeniya v moloko zhvachnykh zhivotnykh [Injection of transuranic elements of Chernobyl origin into milk of ruminants (cows and goats)]. Materials of the 12th International Scientific Conference: Sakharov Readings 2012: Environmental Problems XXI. (May 17-18, 2012, Minsk, Republic of Belarus). Minsk, pp. 227-228 (In Russian).

Bigaliev A.B. (2017) Ecological genetics, publisher “Kazakh Universities”, P.346.

Bigalyev A.B., Shalabaeva K.Z., Kulumbetov A.K., Jiyenbekov A.K., Adylova L.M., Kozhahmetova A.N., Myrzakhan A.G. and Ishanova N.E. (2017) Ecology-genetical evaluation of radiation and chemical pollution (associated with heavy metals) on biota and man. Review. International Journal of research advanced., vol 5, issue 10, pp.819-825.

Dubinin N.P. et al. (1990) Genofond cheloveka i mutageny okruzhayushchei sredy [Human gene pool and environmental mutagens]. Reports of the Academy of Sciences of the USSR. Communication 1., pp.19-31 (In Russian).

Eroshov A. I., Martsul I. N., Antonenkov A. I. (2012) Migration of cesium in the soil – plant – animal link. Materials of the 12th International Scientific Conference: 2012 Sakharov Readings: Environmental Problems XXI. (May 17-18, 2012, Minsk, Republic of Belarus), Minsk, pp. 233-234.

Glazko V. I., Gladyr E. A., Feofilov A. V. (2013) ISSR-PCR marker i mobilnye geneticheskie elementy v genomah sel'skokozyaistvennykh vidov mlekopitayuschykh [ISSR-PCR markers and mobile genetic elements in the genomes of agricultural mammalian species]. Agricultural Biology, no. 2, pp. 71-76 (In Russian).

Hagmar L., Stromberg U., Bonassi S., Hansteen I.L., Knudsen L.E., Lindholm C., Norppa H. (2004) Impact of types of lymphocyte chromosomal aberrations on human cancer risk: results from Nordic and Italian cohorts. Cancer Research., vol. 64, no 6, pp. 2258-2263.

Kamlyuk A.N., Shirko A.V., Zhavoronkov I.S. (2012) O mekhanizmah opredeleniya razryvov, vyzvannykh ioniziruyushchim izlucheniem, v strukture molekuly DNK [On mechanisms for determining discontinuities caused by ionizing radiation in the structure of a DNA molecule]. Materials of the 12th International Scientific Conference: 2012 Sakharov Readings: Environmental Problems XXI. (May 17-18, 2012, Minsk, Republic of Belarus). Minsk, pp. 260-261 (In Russian).

Khandogina E.K. (2010) Izlucheniye geneticheskogo kontrolya radiochuvstvitel'nosti [Studying the genetic control of radiosensitivity]. Genetics, vol. 46, no. 3, pp. 293-301 (In Russian).

Kostrova L.N., Molofey V.P., Mosset I. B. (2007) Vliyaniye vodorastvorimogo melanina na geneticheskiye efekty oblucheniya v polovykh i somaticheskikh kletkakh myshei [Effect of water-soluble melanin on the genetic effects of radiation in the reproductive and somatic cells of mice]. Int. scientific Conf.: From classical methods of genetics and selection to DNA technology. Gomel, pp. 172 – 173 (In Russian).

Kostrova L. N., Mosset I. B., Ushakova D. A., Anoshenko I. P. (2009) Citogeneticheskiye efekty uglerodnykh nanochastich v kletkakh kostnogo mozga myshei [Cytogenetic effects of carbon nanoparticles in mouse bone marrow cells]. Molecular and Applied Genetics., vol. 10, pp.131-135 (In Russian).

Kostyuchenko V. A. (2005) Radiacionno-ekologicheskiye posledstviya avarii na Yuzhnom Urале [Radiation-ecological consequences of the accident in the Southern Urals]: author. dis. ... doc. biol. Sciences: 03.00.01 . Kostyuchenko Vladimir Alekseevich. M., 46 p (In Russian).

Kovalenko S. P. (2014) Nasledstvennyye I somaticheskie mutacii kak molekulyarnye marker dlya diagnostiki I lecheniya raka molochnoi zhelezy [Hereditary and somatic mutations as molecular markers for the diagnosis and treatment of breast cancer], abstract. Dis. ... Dr. Biol. Sciences: 03.01.07. Kovalenko Sergey Petrovich. – Novosibirsk, 35 p (In Russian).

Kozhakhmetova A.N., Bigaliev A.B., Shametov A.K. (2015) Bioindikacionnye issledovaniya akkumulyacii nefteprodukov tyazhelykh metallov v organizme gidrobiontov kazakhstanskoi zony Kaspiya [Bioindication studies of the accumulation of oil derivatives, radionuclides, heavy metals in the body of aquatic organisms in the Kazakhstan zone of the Caspian]. Basic research, no. 2, pp. 59-61 (In Russian).

Kudyasheva A. G., Shishkina L. N., Shevchenko O. G., Bashlykova L. A., Zagorskaya N. G. (2004) Monitoring populations of vole-housekeepers (*Microtus oeconomus* Pall.) Living in conditions of increased background radiation. Radiation biology. Radioecology, vol. 44, no. 3, pp. 262-268.

Levan A., Fregda K., Sandberg A.A. (2006) Nomenclature for centric position on chromosomes. Hereditas, vol. 52, pp.201-220.

Lloyd, D.C., Edwards, A.A., Moquet, J.E., Guerrero-Carbajal Y.C. (2000) The role of cytogenetics in early triage of radiation casualties. Appl Radiat Isot., vol. 52, № 11.

Lomaeva M. G., Vasilieva G. V., Fomenko L. A., Antipova V. N., Gaziev A. I., Bezlepkin V. G. (2011) Povyshennaya variabelnost genoma v somaticheskikh kletkakh u potomstva samok myshei, podvergnutyh ostromu rentgenovskomu oblucheniyu v prekonceptivnyi period [Increased genome variability in somatic cells in offspring of female mice subjected to acute X-ray exposure in the preconceptive period]. Genetics., vol. 47, no. 10, pp. 1371-1377 (In Russian).

Mosse I., Dubovic B., Kostrova L., Molophei V. (2006) Melanin can be used for people protection against chronic irradiation and low radiation doses. 4th International Workshop on Space Radiation Research and 17th Annual NASA Space Radiation Health Investigators' Workshop, Book of Abstracts. Dubna, pp.81.

Nordic Study Group. (1990) A Nordic data base on somatic chromosome damage in humans. Nordic Study Group on the Health Risk of Chromosome Damage. Mutation Research, vol.241, no. 3, pp.325-337.

Preston J. K., Dean B. J., Galloway S. (1987) Mammalian in vivo cytogenetic assays. Analysis of chromosome aberrations in bone marrow cells. Myt. Res., vol. 189, pp. 157-165.

Rikhvanov L.P. (2009) Radioaktivnye elementy v okruzhayushchei srede I problem radioecologii [Radioactive elements in the environment and problems of radioecology], monograph. Publishing house Tomsk Polytechnic University, pp. 428 (In Russian).

Shametov A.K., Kozhakhmetova A.N., Bigaliev A.B. (2014) Rekognoscirovochnoe I radioekologicheskoe obsledovaniye ob'ektov okruzhayushchei srede khvostokhranilichsha Koshkar Ata [Reconnaissance and radioecological examination of environmental objects of the Koshkar-Ata tailing dump]. Biological sciences. Basic research., no. 12, pp. 1938-1941 (In Russian).

Shevchenko V. A., Aseeva E. A., Snigireva G. P., Neverova A. L. (2000) Kletki s mnozhestvennymi khromosomnymi narusheniyami v gruppah lic, podvergovshihya oblucheniyu pri razlichnykh situatsiyah, I ih vozmozhnaya biologicheskaya rol [Cells with multiple chromosomal abnormalities in groups of individuals exposed to radiation in various situations, and their possible biological role]. Radiation Biology. Radioecology, vol. 40, no. 5, pp. 630-639 (In Russian).

Shi A., Kantartzi S., Mmbaga M., Chen P. (2010) Development of ISSR PCR markers for diversity study in dogwood (*Cornus* spp.). Agriculture and biology journal of North America, no.1 (3), pp. 189-194.

Sintyurina A. Bigaliev A.B. (2009) Osobennosti akkumulyacii radionuklidov gidrobiontami I obitatelnyimi pribrezhnoi zony Severo-kaspiiskogo regiona [Features of the accumulation of radionuclides by hydrobionts and inhabitants of the coastal zone of the North Caspian region], Vestnik KazNU, environmental series, no. 1 (24), pp.97-100 (In Russian).

Snigireva G.P. (2009) Posledstviya vozdeistviya ioniziruyushchikh izluchenii: citogeneticheskiye izmeneniya v limfocitah krovi cheloveka [Consequences of exposure to ionizing radiation: cytogenetic changes in human blood lymphocytes]: abstract. diss. ... Dr. Biol. Sciences: 03.00.01-03. Snigireva Galina Petrovna. Moscow, 2009, 48 p (In Russian).

Vaurijoux A., Gruel G., Roch-Lefevre S., Voisin P. Biological dosimetry of ionizing radiation .. Current topics in ionizing radiation research. – 2012. – P. 31-50 (In Russian).

Yablokov A.V. (2013) Neadekvatnost oficialnoi koncepcii radiacionnoi zachshity v oblasti vliyaniya mal'kh doz [Inadequacy of the official concept of radiation protection in the field of low dose effects]. Materials of the IV International Conference. – Tomsk, pp.580-587 (In Russian).

**Шаяхметова Ы.Ш.<sup>1</sup>, Борибай Э.С.<sup>2\*</sup>, Толегенова А.А.<sup>2</sup>,  
Капасова Д.А.<sup>2</sup>, Усубалиева С.Дж.<sup>3</sup>, Тыныбеков Б.М.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Алматинский Технологический университет, Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>Египетский университет исламской культуры «Нур-Мубарак», Казахстан, г. Алматы

<sup>3</sup>АО «Университет Нархоз», Казахстан, г. Алматы

<sup>4</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы,  
e-mail: eboribai\_71@mail.ru

## **ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПОСЕЛКА КАЛАЧИ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

В статье приводятся результаты исследований радиоэкологической обстановки в поселке Калачи Акмолинской области в связи с сонной болезнью. На территории поселка Калачи радиоактивного загрязнения не выявлено. Установленные уровни внешней дозы от природного гамма-излучения составляют в среднем 0,2 мкЗв/час. В объектах окружающей среды (питьевой воде и поверхностных водотоках) п. Калачи содержание техногенных радионуклидов не выявлено либо оно находится на уровне фона глобальных выпадений. Содержание естественных радионуклидов является типичным для Республики Казахстан. Однако исследования подвальных помещений выявили превышение концентрации радона в 3-6 раз по сравнению с нормативами.

**Ключевые слова:** радон, гамма-излучение, дозиметрия, радионуклиды, сонная болезнь.

Shayakhmetova Y.Sh.<sup>1</sup>, Boribay E.S.<sup>2\*</sup>, Tolegenova A.A.<sup>2</sup>,  
Kapasova D.A.<sup>2</sup>, Usubalieva S.J.<sup>3</sup>, Tynybekov B.M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Almaty University of Technology, Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>Egyptian University of Islamic Culture "Nur-Mubarak", Kazakhstan, Almaty

<sup>3</sup>"Narhoz University", Kazakhstan, Almaty

<sup>4</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty,  
e-mail: eboribai\_71@mail.ru

## **Assessment of radioecological environment of Kalachi village in Akmolin region**

The article presents the results of research of the radioecological situation in Kalachi village of Akmola region due to sleepy sickness. No radioactive contamination was detected in the territory of Kalachi village. Established levels of external dose from natural gamma radiation are on average 0.2  $\mu$ Sv/h. In the environment (drinking water and surface watercourses) of Kalachi, the content of man-made radionuclides has not been detected, or it is at the level of the background of global precipitation. Content of natural radionuclides is typical for the Republic of Kazakhstan. However, studies of basement premises revealed an excess of radon concentration of 3-6 times compared to the standards.

**Key words:** radon, gamma radiation, dosimetry, radionuclides, sleeping sickness.

Шаяхметова Ы.Ш.<sup>1</sup>, Борибай Э.С.<sup>2\*</sup>, Толегенова А.А.<sup>2</sup>,  
Капасова Д.А.<sup>2</sup>, Усубалиева С.Дж.<sup>3</sup>, Тыныбеков Б.М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Алматы технологиялық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>2</sup>«Нұр-Мубарак» Египет ислам мәдениеті университеті, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>3</sup>«Нархоз университеті» АҚ, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>4</sup>«Ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.,  
e-mail: eboribai\_71@mail.ru

## **Ақмола облысы Калачи елді мекеніндегі радиоэкологиялық ахуалды бағалау**

Мақалада Ақмола облысы, Калачи елді мекеніндегі ұйқы ауруына байланысты радиоэкологиялық жағдайды зерттеу нәтижелері келтірілген. Калачи елді мекенінің аумағында радиоактивті ластанудың жоғары көрсеткіші анықталмады. Табиғи гамма-сәулеленуден алынған сыртқы дозаның деңгейі орташа есеппен 0,2 мкв/сағ құрайды. Калачидегі тұрғындар

пайдаланатын ауыз су және жер үсті су көздерінде техногендік радионуклидтердің құрамы анықталмады немесе ол табиғи фон деңгейінде. Алайда, жертөлелерді зерттеу кезінде радон концентрациясының көрсеткіші қалыпты жағдаймен салыстырғанда 3-6 есе артық екендігі анықталды.

**Түйін сөздер:** радон, гамма-сәулелену, дозиметрия, радионуклидтер, ұйқы ауруы.

## Введение

Казахстан известен как страна с богатейшими запасами минерального сырья, в том числе и урана. Многие месторождения урана, в частности Ишимское месторождение, разрабатываемые в СССР, в настоящее время рекультивированы и закрыты. Казалось бы, все хорошо, рудники зафиксированы и не действуют, однако, всхолхнувшие всю страну случаи сонной болезни в п. Калачи заставили вспомнить о влиянии этих месторождений на здоровье людей, проживающих близ этих рудников. С первыми же сведениями о случаях болезни научная и медицинская общественность приступила к поиску причин заболевания, однако до сих пор нет ответа на этот вопрос. Остается открытой проблема влияния бывших рудников на проявление сонной болезни, следовательно, изучение радиационной обстановки в п. Калачи является актуальной.

С весны 2013 года в п. Калачи Акмолинской области было зафиксировано большое количество обращений жителей поселка с похожими симптомами заболевания в медицинское учреждение. Так, в первые два месяца за помощью в амбулаторию обратилось около десяти человек в возрасте от 14 до 70 лет. Основными их жалобами являлись слабость и сонливость, головокружение, нарушение координации движения и частичная потеря памяти, протяженный и глубокий сон в течение 4-6 дней. Медицинские работники, получив некоторые анализы, поставили им примерный диагноз «энцефалопатия неясной этиологии».

Некоторые жители поселка Калачи перманентно спали на протяжении нескольких суток. На основе данных Есильской центральной районной больницы была составлена таблица, демонстрирующая периоды засыпания жителей поселка. Периоды в зависимости от темпоральности были условно разделены на «волны» (таблица 1).

Всего зарегистрировано 9 волн, которые включают 173 эпизода засыпания людей на продолжительный срок. Следует отметить тот факт, что не все люди, столкнувшиеся с данной проблемой, обращались за медицинской помощью

в связи с недостаточно выраженными симптомами, которые быстро проходили. Потому суммарное количество зарегистрированных заболевших может несколько отличаться в разных источниках.

**Таблица 1** – Периоды засыпания жителей п. Калачи

Кол-во волн	Периоды	Кол-во заснувших, чел.
1	март 2013 – май 2013	11
2	декабрь 2013 – январь 2014	17
3	февраль 2014	13
4	апрель 2014 – май 2014	8
5	август 2014 – сентябрь 2014	12
6	октябрь 2014	8
7	ноябрь 2014	16
8	декабрь 2014 – январь 2015	68
9	март 2015	20
Всего	март 2013 – март 2015	173

Согласно полученным сведениям, также наблюдались случаи повторного засыпания людей (до 4 и более раз). В общей сложности повторное засыпание зафиксировано у 30 человек. В п. Красногорск также зафиксированы случаи «сонной болезни», но в гораздо меньших масштабах, чем в Калачах (8 случаев).

Причины сонной болезни «синдром Калачей», отмеченные у жителей п. Калачи и п. Красногорск Акмолинской области в 2013 г. и позже, до сих пор не ясны. Проблема вызвала большой интерес как научной общественности, так и отечественной и зарубежной прессы [1]. Были проведены санитарно-эпидемиологические, токсикологические и психо-физиологические исследования [2-6], а также биохимические обследования пострадавших жителей.

В результате этих исследований не был выявлен фактор, вызывающий заболевание у жителей поселков Калачи и Красногорск.

Аналогичные случаи заболевания наблюдали и в п. Березовка, близ нефтегазового ком-

плекса Карашыганак Западно-Казахстанской области в 2015 г. Однако и там точные причины заболевания не были выяснены.

Так, исследования не выявили точных причин этого явления, однако существует предположение, что появление этого заболевания вероятно связано с расположением поблизости этих населенных пунктов бывших разработок месторождений урана. Предполагаемое воздействие радиации (радон и продукты его распада) в поселке стали рассматривать в качестве одного из основных факторов, оказывающих вредное влияние на здоровье жителей п. Калачи.

В связи с этим, *целью исследований* явилось выявление возможных радиационных аномалий как в жилых, так и нежилых помещениях на территории населенного пункта п. Калачи, а также в питьевой воде, провести оценку уровня радоновой опасности территории поселка и его окрестностей с решением *следующих задач*:

- контрольное определение гамма-фона на территории п. Калачи;
- определение эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в жилых помещениях путем мгновенных измерений ЭРОА радона с применением прибора Рамон-02;
- определение ЭРОА радона в жилых помещениях интегральным методом, путем размещения трековых детекторов системы «Radosys» в случае повышенных значений активности радона (торона) при мгновенных измерениях;
- измерение радона в источниках хозяйственно-питьевого водоснабжения;
- измерение гамма-излучения в исследуемых жилых помещениях.

Общие сведения о поселке Калачи и состоянии урановых рудников. Рудники 1 и 2 созданы, соответственно, в 1968 и 1971 гг. на базе Ишимского месторождения. В основном работники близлежащих рудников 1 и 2, обрабатывающих урановые месторождения с 1960 по 1990 гг., жили в поселке Красногорский.

Что касается химического состава, то среднее содержание основных компонентов и примесей урановых руд в пологих зонах месторождения «Ишимское» было такое (данные химических анализов, %): U – 0,204; Th – до 1,0; Zr – 0,02; Sr – 0,03; Mo – 0,066; As – 0,03; Ti – 0,36; Tl – до 0,008; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – до 1,0; отношение Mo/U – 0,36. Кроме того, отмечены Sb, Cu, Pb, Zn, Se, Hg [11]. По химическому составу руды силикатные и среднекарбонатные. Основная масса урана (99,9%) в прожилковых рудах заключена в оксидах (настуран). Эксплуатация месторождения

проводилась подземным способом до 1992 г. В течение 1993-1994 гг. демонтировано оборудование подземного комплекса, выработки ликвидированы, т.е. затоплены.

После полной отработки балансовых запасов месторождений в 1980 году принято решение о ликвидации обоих рудников 1 и 2. В связи с этим был разработан рабочий проект «Рекультивационные мероприятия промышленных площадок шахт рудников №1 и №2». В 1981–83 гг. по этому проекту ликвидированы горные выработки, засыпаны провалы земной поверхности, а также демонтирована часть зданий и сооружений, не задействованных на эксплуатации близлежащих месторождений Шакпак и Камышовое. Следует отметить, что рудоуправление №4 как горнодобывающее предприятие продолжало функционировать до прекращения очистных работ на руднике №3 (месторождение Шакпак) в 1992 году [7]. С распадом СССР Красногорский урановый рудник и останки многочисленных объектов и сооружений, входивших, в основном, в инфраструктуру предприятий по добыче урана ликвидировали [8]. В начале 2000-х в рамках государственной программы шахты были законсервированы.

Поселок Калачи входит в состав Красногорской поселковой администрации в Есильском районе Акмолинской области Казахстана. Он расположен в непосредственной близости ранее действовавших урановых рудников. Основным направлением экономики поселка является сельское хозяйство, точнее – зерновое производство. Население поселка в 2009 г. составляло 647 человек (323 мужчин и 324 женщины).

Таким образом, территория, прилегающая к п. Калачи, на которой более 30 лет назад проводилась добыча урана, рекультивирована, а объекты инфраструктуры рудника ликвидированы. Тем не менее, проявившаяся среди жителей поселка Калачи «сонная болезнь» и отсутствие причин, ее вызывающих, требовало особого внимания и поэтому в своей работе мы исследовали радиологическое состояние поселка, памятуя, что радон может быть одним из предполагаемых негативных факторов [9].

### Материалы и методы исследования

На территории п. Калачи, прилегающей к урановым шахтам Ишимского месторождения в летний период 2018 года, были проведены радиологические исследования.

Для определения плотности потока альфа- и бета-частиц, а также для определения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения использовался универсальный радиометр-дозиметр ДКС-96, который включает в себя блок детектирования альфа, бета-частиц и блок детектирования гамма-излучения. Выполнение работ осуществлялось согласно стандартным методикам измерения радиационных параметров и лабораторных анализов.

Измерения ЭРОА радона и дочерних продуктов распада были выполнены в воздухе помещений и в воде радиометром радона «Ramon-02», заводской № 05-08, сертификат о поверке № ВА-17-04-30507 от 16.05.2018 г.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования интегральных радиационных параметров на территории п. Калачи.

Интегральные значения активности радона получены с использованием детекторов системы «Radosys» при обследовании жилых и нежилых домов. Дома представляют собой одноэтажные постройки, выполненные из кирпича или глины. В большинстве случаев, каждый дом используется на два хозяина и имеет отдельные входы и перегородку, разделяющую дом на две половины. Обследовано 10 помещений. Для поиска возможных источников ионизирующего излучения обследованы дворы и улицы п. Калачи и рядом расположенного поселка Красногорский. Площадь обследованной территории составила  $\sim 0,42$  км<sup>2</sup>.

Пешеходная радиометрическая гамма-съемка.

Определение мощности экспозиционной дозы (МЭД) проводилось по 6 улицам поселка Калачи (Рисунок 1) с фиксацией значений на GPS-навигаторе, в контрольных 106 точках, через каждые 50 метров. По результатам замеров гамма-фон территории равномерный, значения от 0,11 мкЗв/ч до 0,21 мкЗв/ч, в среднем 0,15 мкЗв/ч.

Согласно нормативам, уровень безопасных величин мощности экспозиционной дозы для тела человека, когда «радиационный фон в норме» находится в пределах до 0,2 мкЗв/час (или 20 мкР/час). Верхний предел допустимой мощности дозы – 0,5 мкЗв/час [10].

При проведении измерений мощности экспозиционной дозы в жилых помещениях также не было зафиксировано превышения предельно-допустимой нормы. Максимальная активность составила 0,15 мкЗв/час. Таким образом, значения мощности экспозиционной дозы в п. Калачи и п. Красногорск находятся в пределах нормы и варьируют от 0,054 мкЗв/час до 0,187 мкЗв/час.

Регистрация гамма-активности выполнялась поверенным от 29.12.2017. дозиметром-радиометром ДКС-96. На каждой точке наблюдения было выполнено не менее 3 наблюдений гамма-активности, осредненное значение в мкЗв/ч заносилось в полевой журнал.

Измерение ЭРОА радона и МЭД в помещениях.

Проведены измерения активности радона в помещениях п. Калачи. Радон – бесцветный газ естественного происхождения, не имеет запаха, образуется при распаде урана-238. Радон, находящийся в земле и в подземных водах, проникает в помещения через трещины и из воды. При вдыхании человеком воздуха дочерние продукты радона оседают на поверхность легочной ткани. Так происходит внутреннее облучение организма человека, которое при значительном содержании радона в воздухе может привести в будущем к развитию рака легких [11-12].

В соответствии с Техническим заданием, были исследованы 10 зданий с проведением 30 замеров ЭРОА радона в воздухе помещений и замеры МЭД от стен и пола. Из 10 зданий были исследованы 8 частных жилых домов, 1 частный нежилой дом и сельская школа. Результаты исследований представлены в таблице 2. Результаты измерений радона показали значения (от 14,3 Бк/м<sup>3</sup> до 244,6 Бк/м<sup>3</sup>), в большинстве не превышающие нормативы для эксплуатируемых зданий в 200 Бк/м<sup>3</sup>. Однако только в одном частном нежилом доме, которое было продолжительное время закрыто, замеры показали среднее значение, равное 244,6 Бк/м<sup>3</sup> (таблица 2). Следует отметить, что в большинстве помещений показатели замеров радона показали значения, незначительно превышающие нулевые. Однако исследования подвальных помещений выявили превышение концентрации радона в 3-6 раз по сравнению с нормативами.

Измерения МЭД внутри помещений показали значения, практически не отличающиеся от гамма-фона территории п. Калачи.



Рисунок 1 – Космический снимок с контрольными точками измерений МЭД, п. Калачи, 2018 г.

В 6 помещениях из 10 исследуемых зданий были размещены 6 детекторов типа Radosys (RSKS) для проведения измерения активности радона интегральным методом. Интегральный метод позволяет оценить среднегодовую ЭРОА радона (при экспозиции детектора не менее 3-х месяцев). Данный способ измерения позволяет получить среднее значение с учетом естественной вентиляции помещения. Метод позволяет

проводить измерения, не нарушая естественный распорядок дня проживающих в контролируемом помещении лиц. Гарантия правильных результатов обеспечивалась тем, что владельцам домов выдавалась «памятка» обращения с детектором. Детектор устанавливался вдали от радиаторов отопления, окон, дверей в зоне с малой подвижностью воздуха: за шкафом, или за диваном, в тумбочке или в шкафу не выше 1,5 м от пола.

Таблица 2 – Результаты измерения ЭРОА радона (торона) и МЭД в помещениях

№ п/п	Наименование	Координаты	Наименование, материал, год постройки	ЭРОА, Бк/м <sup>3</sup>					МЭД, МкЗв/ч	
				Снаружи	Внутри (повторности)				Снаружи	Внутри
					1	2	3	Средн.		
1	Дом частный, жилой	N52 14 46.5 E66 32 02.9	Газобетон, 1994	3	16	12	15	14,3	0,16	0,16
2	Дом частный, жилой	N52 14 36.8 E66 31 40.4	Шлакоблок, 1986	2	23	18	22	21,0	0,16	0,16
3	Дом частный, жилой	N52 14 43.5 E66 31 34.6	Панельный, 1984	3	167	159	164	163,3	0,15	0,18
4	Дом частный, жилой	N52 14 55.8 E66 31 49.2	Шлакоблок, 1970-е	2	26	24	26	25,3	0,16	0,21
5	Школа	N52 14 47.2 E66 31 35.4	Кирпич, 1980	3	24	20	25	23,0	0,16	0,15

Продолжение таблицы 2

№ п/п	Наименование	Координаты	Наименование, материал, год постройки	ЭРОА, Бк/м <sup>3</sup>				МЭД, МкЗв/ч		
				Снаружи	Внутри (повторности)			Снаружи	Внутри	
					1	2	3			Средн.
6	Дом частный, жилой	N52 14 46.5 E66 31 33.9	Шлакоблок, 1980	3	139	131	140	137,0	0,16	0,15
7	Дом частный, не жилой	N52 14 34.6 E66 31 31.1	1980-е	3	246	241	247	244,6	0,16	0,18
8	Дом частный, жилой	N52 14 34.0 E66 31 31.7	Кирпич, 1980	3	70	68	73	70,3	0,16	0,2
9	Дом частный, жилой	N52 14 40.0 E66 31 28.9	Шлакоблок, 1985	3	112	109	118	113	0,17	0,18
110	Дом частный, жилой	N52 14 43.1 E66 31 40.9	Саман, 1986	3	97	95	96	96,0	0,16	0,19

Все данные об исследованиях и характеристиках домов зафиксированы в сертификатах обследования по каждому зданию.

По некоторым источникам [10] превышение мощности экспозиционной дозы было зафиксировано вблизи урановых шахт. Максимальная мощность экспозиционной дозы была зафиксирована на кургане вблизи урановой шахты №2 и составила 12,3 мкЗв/час, что превышает предельно допустимую норму в 27,7 раза. Урановые шахты были засыпаны более 20 лет назад, однако они до сих пор оказывают неблагоприятное воздействие на радиозоологическую обстановку в регионе [9].

Измерение концентрации радона в воде.

Поселок Калачи расположен на берегу реки Ишим. Основной источник питьевой воды – подземные воды восточного прилегающего участка. Жители поселка пользуются водой для питья из скважины, вода из которой откачивается погружным насосом и подается в распределительную сеть.

Измерение активности радона в питьевой воде проведено из распределительной сети. Активность радона в питьевой воде низкая (12 Бк/л), что не превышает значения ПДК в 60 Бк/л.

### Выводы

Таким образом, результаты исследований не выявили сколько-нибудь значимых радиационных аномалий на территории а. Калачи. МЭД на поверхности и внутри помещений не превышало 0,21 мкЗв/ч. Не выявлены повышенные активности радона и продуктов его распада в воздухе жилых и общественных помещений. Концентрация

радона в источнике питьевого водоснабжения не превышала нормативных данных 60 Бк/л. Но нужно сказать, что измерения проводились в теплый период года, т.е. в условиях интенсивного воздухообмена. Учитывая высокую потенциальную радоноопасность территории, мы считаем необходимым существенно расширить программу исследований, чтобы определить активность радона и продуктов его распада в жилых и нежилых помещениях в другие сезоны года.

По результатам оценки радиационной обстановки на территории села Калачи значения МЭД в домах находились в диапазоне от 0,15 до 0,21 мкЗв/ч. Среднее значение мощности эквивалентной дозы в п. Калачи соответствует средним значениям в населенных пунктах области. Однако исследования подвальных помещений выявили превышение концентрации радона в 3-6 раз по сравнению с нормативами.

В объектах окружающей среды (питьевой воде и поверхностных водотоках) поселка Калачи аномалий техногенных радионуклидов не выявлено, их концентрации находятся на уровне фона глобальных выпадений. Показатели по содержанию естественных радионуклидов являются сходными с типичными данными для Казахстана [8].

Согласно результатам предварительного анализа радоноопасных территорий Казахстана, около 8 млн. жителей республики проживает в потенциально опасных зонах [9]. Но при этом только на территории п. Калачи наблюдаются проявления «сонной болезни». Таким образом, возникновению этой патологии, по-видимому, способствует целый комплекс причин, которые до настоящего времени недостаточно изучены.



## Заключение

Исследования показали, что радиационная обстановка, несмотря на то, что есть превышения нормативов по некоторым параметрам, является характерной для данного региона (в Республике Казахстан и во многих других странах существуют населенные пункты, где отмечены более высокие значения радиационных параметров). Данные, полученные в летний период, позволяют сказать, что радиологическая обстановка п. Калачи не вызывает особых опасений и не может являться основной причиной «синдрома Калачи». Однако для окончательного вывода необходимо проведение исследований активности радона и продуктов его распада в зимне-весенний период года для получения годовой дозы облучения населения поселка, а также рассматривать возможность сочетанного воздействия радона и других внешних факторов воздействия.

## Конфликт интересов

Авторы не имеют конфликта интересов.

## Благодарности

Авторы статьи благодарны Бэнсману Владиславу Абрамовичу за ценные рекомендации по написанию статьи.

## Источник финансирования

Работа выполнена при поддержке Национальной программы грантов Казахстана на 2018-2020 годы. Финансирование предоставлено Министерством образования и науки Республики Казахстан в рамках государственного заказа по бюджетной программе 217 «Развитие науки» и подпрограммы 101 «Грантовое финансирование научных исследований», договор №73 от 23 февраля 2018 года.

## Сокращения и обозначения

МЭД – мощности экспозиционной дозы, ЭРОА – определение эквивалентной равновесной объемной активности, ИИИ – источники ионизирующего излучения, ПДК – предельно-допустимая концентрация.

## Литература

- Сонная болезнь вновь настигла жителей поселка Акмолинской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://tengrinews.kz/kazakhstan\\_news/sonnaya-bolezn-vnov-nastigla-jiteley-poselka-akmolinskoy-248999/](https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/sonnaya-bolezn-vnov-nastigla-jiteley-poselka-akmolinskoy-248999/)
- Радон на территории села Калачи Акмолинской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/2811>
- Fesenko S.V. et al. Dynamics of <sup>137</sup>Cs bioavailability in a soil-plant system in areas of the Chernobyl Nuclear Power Plant accident zone with a different physico-chemical composition of radioactive fallout // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 1997. – Vol. 34. – Issue 3. – P. 287-313.
- Boribay E., Akhtaeva N., Shayakhmetova I., Moldagaziyeva Zh., Usabalieva S., Tulegenova A. Biomonitoring of the of technogenic factor's influence on the plants. European Biotechnology Congress 2018. // *Journal of Biotechnology*. – 2018. – Vol. 280. – P. 92.
- Tulegenova A., Man Cheung Chung, Boribay E., Shayakhmetova I., Moldagaziyeva Zh., Usabalieva S. Sleeping sickness in Kalachi village. «The IER international Conference» 24-25 August, Hong Kong, 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://TheIER.org/Conference2018/HongKong/3/ICPLT/>.
- Tulegenova A., Man Cheung Chung, Boribay E., Shayakhmetova I., Moldagaziyeva Zh., Usabalieva S. Psychological research of sleeping sickness in Kalachi village //9<sup>th</sup> ICEEPSY 2018 International Conference on Psychology & Educational Psychology. Athens/Greece. 2018.– P. 776-782.
- Проведение радиационного мониторинга сельских населенных пунктов, 2008-2011г. Министерство охраны окружающей среды. – Алматы, 2011. – С. 45-68.
- Программа изучения радиационной обстановки на территории Республики Казахстан на 2002 – 2006 гг., утвержденная Постановлением Правительства Республики Казахстан. – Алматы, Курчатов, 2002. – С. 79-83.
- Cardozo R.S., Takahashi-Hyodo S., Peitl P. Jr., Ghilardi-Neto T., Sakamoto-Hojo E.T. Evaluation of chromosomal aberrations, micronuclei and sister chromatid exchanges in hospital workers chronically exposed to ionizing radiation // *Teratog. Carcinog. Mutagen.* - 2001.- Vol.21.- P.431-439.
- Берикболов Б.Р., Буркитбаев М., Шишков И.А. Радиологическая обстановка в Казахстане / Б.Р. Берикболов / Геофизика и проблемы нераспространения. Радиология. Охрана окружающей среды. //Вестник НЯЦ РК. Выпуск 3, 2003. – С. 54-59.
- Радиационная медицина: Учеб. пособие / А.Н. Стожаров, Л. А. Квиткевич, Г.А. Солодкая. – М.: МГМИ, 2000. – С. 145-150.

Поцелуев А.А., Рихванов Л.П. Уран Казахстана. Редкие элементы и золото в месторождениях Северо-Казахстанской урановорудной провинции и перспективы их комплексного освоения. – Алматы, 2008. – С. 156-157.

### References

Berikbolov B.R., Burkitbayev M., Shishkov I.A. (2003) Radioekologicheskaya obstanovka v Kazakhstane [Radioecological situation in Kazakhstan]. B.R. Berikbolov . Geofizika i problemy nerazprostraneniya. Radioekologiya. Okhrana okruzhayushchey sredy. Vestnik NYATS RK, vypusk 3, pp.54-59 (In Russian).

Boribay E., Akhtaeva N., Shayakhmetova I., Moldagaziyeva Zh., Usubaliyeva S., Tulegenova A.. Biomonitoring of the of technogenic factor's influence on the plants. European Biotechnology Congress 2018. Journal of Biotechnology, 2018, vol. 280, pp. 92.

Fesenko S.V. et al. (1997) Dynamics of <sup>137</sup>Cs bioavailability in a soil-plant system in areas of the Chernobyl Nuclear Power Plant accident zone with a different physico-chemical composition of radioactive fallout. Journal of Environmental Radioactivity, vol. 34, pp. 287-313.

Kardozo R.S., Takakhashi-KH'odo S., Peytl P. mladshiy, Gilardi-Neto T., Sakamoto-Khodzho Ye.T. (2001) Otsenka khromosomnykh aberratsiy, obmena mikroyadrami i sestriinskimi khromatidami u rabotnikov bol'nits, khronicheski podverzhennykh vozdeystviyu ioniziruyushchego izlucheniya . Teratog. Carcinog.Mutagen, vol.21, pp. 431-439 (In Russian).

Potseluyev A.A., Rikhvanov L.P. (2008) Uran Kazakhstana. Redkiye elementy i zoloto na mestorozhdenii Severo-Kazhstanskoy uranovorudnoy provintsii i perspektivy ikh kompleksnogo osvoyeniya [Rare elements and gold in deposits in the North Kazakhstan uranium province and the prospects for their comprehensive development]. – Алматы, pp. 156-157 (In Russian).

Programma izucheniya radiatsionnoy obstanovki na territorii Respubliki Kazakhstan na 2002 – 2006 gg., (2002) Utverzhdennaya Postanovleniyem Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan [Program of radiation situation study on the territory of the Republic of Kazakhstan for 2002 – 2006, approved by the Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan]. – Алматы, Kurchatov, 2002, pp.79-83 (In Russian)

Provedeniye radiatsionnogo monitoringa naseleniya naselennykh punktov [Conducting radiation monitoring of rural settlements], 2008-2011g. (2011) Ministerstvo okhrany okruzhayushchey sredy. – Алматы, pp.45-68 (In Russian).

Radon na territorii sela Kalachi Akmolinskoy oblasti [Radon in Kalachi village of Akmola region]. – Rezhim dostupa: <http://7universum.com.ru.nature.archive.item.2811> (In Russian)

Sonnaya bolezn' vnov' nastigla zhiteley poselka Akmolinskoy oblasti [Sleep sickness has caught up with the residents of the village of Akmola region]. – Rezhim dostupa: [https://tengrinews.kz.kazakhstan\\_news.sonnaya-bolezn-vnov-nastigla-jiteley-poselka-akmolinskoy-248999](https://tengrinews.kz.kazakhstan_news.sonnaya-bolezn-vnov-nastigla-jiteley-poselka-akmolinskoy-248999). (In Russian)

Stozharov A.N., Kvitkevich L. A., Solodkiy G.A. (2000) Radiatsionnaya meditsina: Ucheb. posobiye . – М.: MGMI, pp. 145-150.

Tulegenova A., Man Chung Chung, Boribay E., Shayakhmetova I., Moldagaziyeva Z.H., Usubaliyeva S. (2018) Sonnaya bolezn' v sele Kalachi. «Mezhdunarodnaya konferentsiya MIER» 24-25 avgusta, Gonkong, 2018. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://IHER.org.Conference2018.Gonkong.3.ICPLT>.. (In Russian)

Tolegenova A., Man Chung Chung, Boribay E., Shayakhmetova I., Moldagaziyeva Z.H., Usubaliyeva S. (2018) Psikhologicheskoye issledovaniye sonnoy boleznii v sele Kalachi . 9-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya po psikhologii i psikhologii obrazovaniya. Afiny, Gretsiya, pp, 776-782 (In Russian).

3-бөлім  
**БИОЛОГИЯЛЫҚ  
АЛУАНТҮРЛІЛІКТІ САҚТАУДЫҢ  
ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ**

---

Section 3  
**ACTUAL PROBLEMS  
OF BIODIVERSITY CONSERVATION**

---

Раздел 3  
**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
СОХРАНЕНИЯ  
БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ**

**Almezhanova M.D.<sup>1,2</sup>, Tlepov A.A.<sup>2</sup>, Shorayeva K.A.<sup>1</sup>,  
Burashev Ye.D.<sup>1</sup>, Mukhami N.N.<sup>1</sup>, Sultankulova K.T.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Research Institute for Biological Safety Problems, Kazakhstan, Gvardeyskiy

<sup>2</sup>Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Kazakhstan, Taraz  
e-mail: meirima\_89@mail.ru

## **DESIGN OF PRIMERS FOR DIAGNOSING LUMPY SKIN DISEASE OF CATTLE BY PCR**

Development of a domestic test-system for diagnosing lumpy skin disease of cattle is an urgent task and is due to the need for early diagnosis of the disease. The purpose of this study is the design of primers for diagnosing lumpy skin disease of cattle using the PCR method and optimization of the reaction formulation. The paper presents the results of the design and synthesis of primers to optimize the PCR for identification of lumpy skin disease virus of cattle.

During the experiments, two pairs of oligonucleotide primers were selected and synthesized: LSDV-1-f and LSDV-1-r, LSDV-2-f and LSDV-2-r. During the PCR oligonucleotide primers LSDV-2-f and LSDV-2-r with an operating concentration of 20 pmol showed higher specificity in detecting lumpy skin disease virus of cattle. Design of primers was carried out using computer software Primer Blast and Vector NTI. The primers were used to amplify a fragment of the GPCR gene encoding the chemokine receptor of the genome of the cattle lumpy skin disease virus. It is considered that the GPCR gene is one of the main molecular biomarkers for the differential diagnosis of capripoxviruses: sheep pox, goat pox and lumpy skin disease of cattle. The designed primers will be used in the future in developing a domestic PCR test-system.

**Key words:** PCR, primer, cattle, lumpy skin disease, genome.

Алмежанова М.Д.<sup>1,2</sup>, Тлепов А.А.<sup>2</sup>, Шораева К.А.<sup>1</sup>,  
Бурашев Е.Д.<sup>1</sup>, Мұхами Н.Н.<sup>1</sup>, Сұлтанқұлова К.Т.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Биологиялық қауіпсіздік проблемаларының ғылыми-зерттеу институты, Қазақстан, Гвардейск қ.

<sup>2</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Қазақстан, Тараз қ.  
e-mail: meirima\_89@mail.ru

### **Полимеразды тізбекті реакция әдісінің көмегімен ірі қара малдың нодулярлық дерматит ауруын балауға арналған праймерлерді іріктеу**

Ірі қара малдың нодулярлық дерматит ауруын балауға арналған отандық сынақ-жүйені құру – өзекті мәселе және аурудың ерте диагностикасының қажеттілігі болып табылады. Аталмыш зерттеу жұмыстарының мақсаты – ПТР әдісінің көмегімен ірі қара малдың нодулярлық дерматит ауруын балау үшін праймерлерді іріктеу және реакция қоюды оңтайландыру. Мақалада ірі қара малдың нодулярлық дерматит ауруының вирусын анықтау үшін ПТР қоюды оңтайландыру үшін праймерлерді іріктеу мен синтездеу нәтижелері келтірілген.

Жасалынған эксперименттер барысында, LSDV-1-f пен LSDV-1-r, LSDV-2-f пен LSDV-2-r олигонуклеотидті праймерлерінің 2 жұбы іріктеліп синтезделді. ПТР қою барысында, 20 пмоль жұмыс концентрациясымен LSDV-2-f пен LSDV-2-r олигонуклеотидті праймерлері ірі қара малдың нодулярлық дерматит ауруын анықтау кезінде тым жоғары спецификалық ерекшелікке ие екендігі байқалды. Праймерлерді іріктеу Primer Blast пен Vector NTI программалары арқылы жүргізілді. Праймерлер ірі қара малдың нодулярлық дерматит вирусы геномының хемокинді рецепторын кодтайтын GPCR генінің фрагментін амплификациялау үшін қолданылған. GPCR гені каприпоксвирустар – қой шешегі, ешкі шешегі және ірі қара малдың нодулярлық дерматитінің дифференциалды диагностикасы үшін маңызды молекулярлы биомаркерінің бірі болып табылады. Құрастырылған праймерлер болашақта отандық ПТР сынақ-жүйесін әзірлеу барысында қолданылатын болады.

**Түйін сөздер:** ПТР, праймер, ірі қара мал, нодулярлық дерматит, геном.

Алмежанова М.Д.<sup>1,2</sup>, Тлепов А.А.<sup>2</sup>, Шораева К.А.<sup>1</sup>,  
Бурашев Е.Д.<sup>1</sup>, Мухами Н.Н.<sup>1</sup>, Султанкулова К.Т.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности, Казахстан, г. Гвардейский

<sup>2</sup>Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, Казахстан, г. Тараз  
e-mail: meirima\_89@mail.ru

### **Подбор праймеров для диагностики нодулярного дерматита крупного рогатого скота методом ПЦР**

Создание отечественной тест-системы для диагностики нодулярного дерматита КРС является актуальной задачей и обусловлено необходимостью ранней диагностики заболевания. Целью данного исследования является подбор праймеров для диагностики нодулярного дерматита крупного рогатого скота с помощью метода ПЦР и оптимизация постановки реакции. В работе представлены результаты подбора и синтеза праймеров для оптимизации постановки ПЦР по идентификации вируса нодулярного дерматита КРС.

В ходе экспериментов были подобраны и синтезированы 2 пары олигонуклеотидных праймеров: LSDV-1-f и LSDV-1-r, LSDV-2-f и LSDV-2-r. При постановке ПЦР олигонуклеотидные праймеры LSDV-2-f и LSDV-2-r с рабочей концентрацией 20 пмоль обладали более высокой специфичностью при выявлении вируса нодулярного дерматита КРС. Подбор праймеров проведен с использованием компьютерных программ Primer Blast и Vector NTI. Праймеры были использованы для амплификации фрагмента гена GPCR, кодирующего хемокиновый рецептор генома вируса нодулярного дерматита КРС. Ген GPCR считается одним из основных молекулярных биомаркеров для дифференциальной диагностики каприпоксвирусов: оспы овец, оспы коз и НД КРС. Конструированные праймеры в дальнейшем будут использованы при создании отечественной ПЦР тест-системы.

**Ключевые слова:** ПЦР, праймер, крупный рогатый скот, нодулярный дерматит, геном.

### **Introduction**

Lumpy skin disease is an especially dangerous animal disease that can cause epizootics and cause significant economic damage. In accordance with the new classification, it is included in the list of OIE diseases subject to mandatory notification in the category "Cattle diseases and infections". Lumpy skin disease occurs in the form of epizootic, characterized by seasonality (it is noted in the hot, wet season), confined to lowland, wetlands. The disease manifests itself suddenly and simultaneously in places remote from each other; it spreads quickly.

Diagnosis of lumpy skin disease virus is carried out by observing characteristic clinical signs, virus isolation, electron microscopy, histopathological examination, serological and molecular methods.

The pathogen of lumpy skin disease (LSD) of cattle is a DNA-containing virus belonging to the genus Capripoxvirus of the family Poxviridae. The genus Capripoxvirus consists of three closely related viruses, namely sheep pox and goat pox and lumpy skin disease of cattle. The closely related members of the family Poxviridae (viruses of infectious nodular dermatitis, sheep pox and goat pox) cause generalized or localized skin lesions in cattle, sheep and goats, which makes it difficult to differentiate the causative agents of these diseases in diagnostic

studies. Capripoxviruses are serologically identical, and therefore their identification is based on the use of molecular diagnostic tools [1]. One of the most reliable tools for molecular diagnostics of lumpy skin disease of cattle is the method of PCR.

The genome of lumpy skin disease virus is about 151 kbp in length consisting of a central coding region bounded by identical 2,4 kbp-inverted terminal repeats and containing 156 putative genes [2, 3]. Despite the fact that there is a close connection between the lumpy skin disease virus and other members of the poxvirus subfamily, there is a unique set of genes responsible for the viral virulence of LSD [4].

The main molecular biomarkers of capripoxviruses are genes encoded by P32 protein, G-protein encoding the chemokine receptor (G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR)) and RNA polymerase subunit protein (RPO30). P32 is a capripoxvirus envelope protein using comparative sequences of the gene encoded by the P32 protein can be distinguished sheep pox from goat pox [5, 6]. The conservative RPO30 gene encodes the 30 kDa DNA-dependent RNA polymerase subunit [2, 7] and is used to distinguish sheep pox, goat pox and LSD of cattle [6, 8, 9]. The GPCR gene encoding the chemokine receptor is also used for the differential diagnosis of sheep pox, goat pox and LSD of cattle [1, 10].

Rapid and exact diagnosis by PCR method, as well as the rapid implementation of control measures is very important for the prevention measures of the spread of LSD of cattle in the country.

Based on this, the purpose of this study is the design of primers for diagnosing lumpy skin disease of cattle using the PCR method and optimization of the reaction formulation.

## Materials and methods

**Primer design.** The sequence analysis of the LSDV genome of cattle was carried out in the NCBI database; the GPCR gene encoding the chemokine receptor was selected for the design of specific primers.

Search and selection of nucleotide sequences of segments of cattle lumpy skin disease was carried out in the international database GenBank. The analysis of the nucleotide sequences of genes or their individual fragments was carried out using various software packages, such as Vector NTI Suite 9. The following requirements were used during the primers design: primer length is 17-28 bases; the percentage of G+C pairs is 40-60; avoid sticking primers on yourself; dimer formations; melting temperature in the range of 52-59 °C.

The designed primers were synthesized on the synthesizer of oligonucleotides Synthesizer H-16 (made in Germany) according to the instructions attached to the device.

**DNA isolation.** DNA isolation was carried out using the commercial kit “DNeasy® Blood&Tissue Kit (250)”, of the company “Qiagen”. It have been isolated DNAs of sheep pox, goat pox and lumpy skin disease.

**PCR conducting.** The mixture for the reaction consisted of the following components: Master mix of volume 25 µl, 10x PCR buffer – 2,5 µl, dNTP – 1 µl, MgCl<sub>2</sub> – 2 µl; primer f (10 pmol) – 1 µl, primer r (10 pmol) – 1 µl, 5 units of Taq DNA Polymerase – 0,25 µl; H<sub>2</sub>O – 14,25 µl, DNA – 3 µl.

Processing of the PCR products were carried out on a Thermal Cycler GeneAmp PCR System 9700 (Applied Biosystems, USA) according to the following amplification mode: 94 °C – 3 min, 35 cycles, 94 °C – 20 s, 57 °C – 20 s, 72 °C – 40 s and 72 °C – 7 min, 4 °C – infinity.

**Electrophoretic analysis.** PCR products of the DNA amplification of lumpy skin disease virus were analyzed in a 1,5% agarose gel in TAE buffer at a voltage of 80 volts/cm of gel length during 60 minutes followed by detection on the Gel Chemi Doc transilluminator (USA). The results were visualized and recorded using the “Quantity One” software.

## Results and Discussion

Lumpy skin disease virus was diagnosed by amplifying the polymerase chain reaction of partial fragments of the GPCR gene, encoding the G-protein-coupled chemokine receptor. Primers design was carried out by Vector NTI software for diagnosing lumpy skin disease of cattle. Two pairs of primers were selected during the experiments: LSDV-1-f and LSDV-1-r, LSDV-2-f and LSDV-2-r.

Design of primers was performed using the program Primer-BLAST. As a result, two primer pairs were obtained. The obtained primers were tested for specificity using the BLAST online computer program (Figure 1).

	Max Score	Total Score	Query Cover	E value	Per Ident	Accession
Lumpy skin disease virus isolate: Mexico/01/2008 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302091.1
Lumpy skin disease virus isolate: Gates/012/2008 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302090.1
Lumpy skin disease virus isolate: Chikho/011/2008 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302089.1
Lumpy skin disease virus isolate: Gircu/010/2008 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302088.1
Lumpy skin disease virus isolate: Hitea/019/2008 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302087.1
Lumpy skin disease virus isolate: Amoupo/010/08 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302086.1
Lumpy skin disease virus isolate: Gindu/07/2008 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302085.1
Lumpy skin disease virus isolate: Toka/05/2008 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302084.1
Lumpy skin disease virus isolate: Simku/2009 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302083.1
Lumpy skin disease virus isolate: Suidu/14/08 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302082.1
Lumpy skin disease virus isolate: Suidu/10/08 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302081.1
Lumpy skin disease virus isolate: Sidi/074/2010 G-protein-coupled chemokine receptor (GPCR) gene, complete cds	36.2	36.2	100%	5.8	100.00%	MK302080.1

Figure 1 – Comparative analysis of primers using the Blast program

According to the results have been selected two pairs of primers that showed 100% sequence identity of the amplified DNA region.

The PCR products amplification shows the high specificity of the synthesized primers.

A graphical analysis of the sequence of strains identical to our isolate in the NCBI BLAST database showed the target GPCR gene to which were designed and synthesized primers (Figure 2).

The pathogen that caused the disease with clinical signs of lumpy skin disease in cows in 2016 in the Western regions of our country was identified by sequencing the GPCR (G-protein-coupled

chemokine receptor) protein gene – a homologue of chemokine receptors coupled to G-protein. This gene determines a host spectrum and can be used to differentiate capripoxviruses.

It is very important correctly to select annealing temperature of the primers in conducting PCR. The specificity of the PCR product begins to increase with an increase on the annealing temperature. The following results have been obtained based on the selected optimal parameters of the PCR mixture composition and the temperature-time regime for all amplification stages during the experiments (Figure 3).

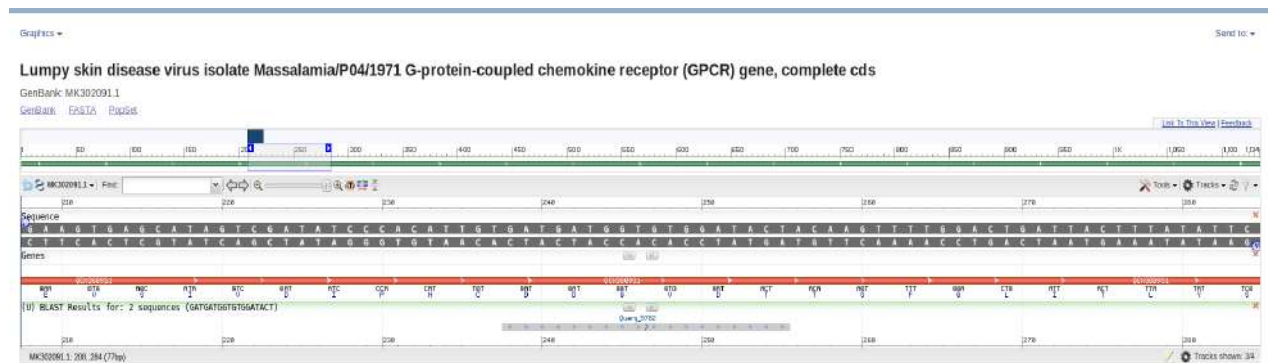
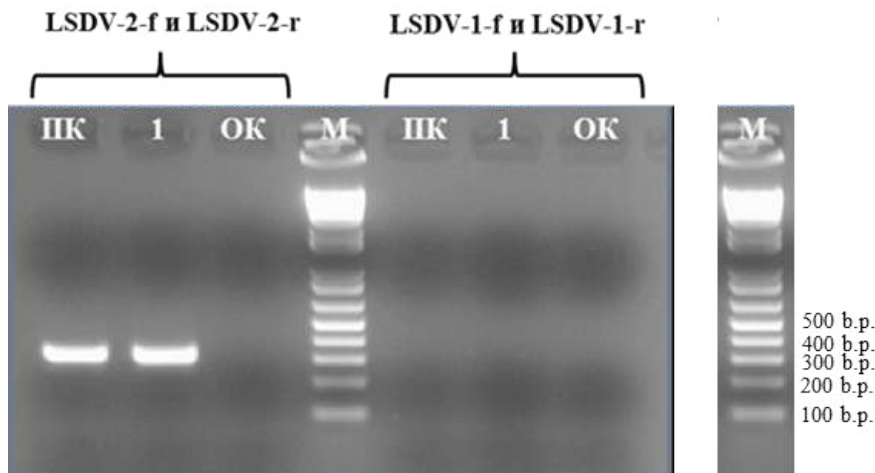


Figure 2 – Image of the GPCR gene specific to the developed primers

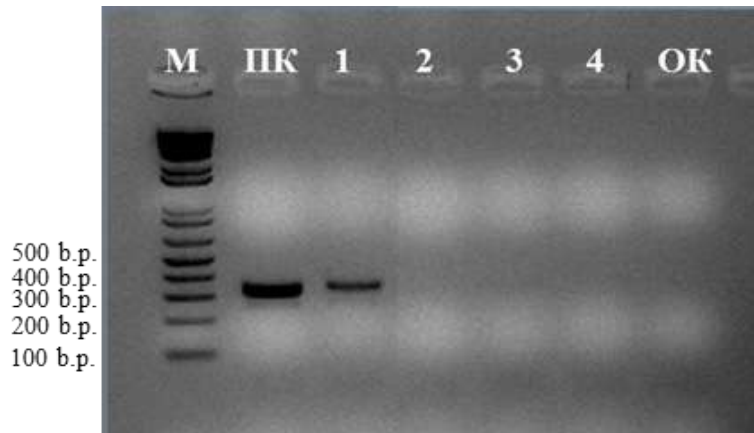


M – 1 kb marker, Invitrogen; ПК (ПК) – positive control – plasmid DNA containing a portion of the GPCR gene of lumpy skin disease virus DNA (347 b.p.); NC (OK) – negative control – H<sub>2</sub>O; 1 – DNA of lumpy skin disease virus;

Figure 3 – Electrophoregram of amplification products using LSDV-1-f and LSDV-1-r, LSDV-2-f and LSDV-2-r primers

Amplified samples were analyzed on a 1,5% agarose gel in a TAE buffer. Figure 3 shows that as a result of PCR using oligonucleotide primers LSDV-1-f and LSDV-1-r were obtained negative results, while using primers LSDV-2-f and

LSDV-2-r were obtained PCR products with an expected size of 347 b.p. The PCR method has been performed to determine the specificity of oligonucleotide primers. The results are presented in Figure 4.



M – 1 kb marker, Invitrogen; PC (IIK) – positive control – plasmid DNA containing a portion of the GPCR gene of lumpy skin disease virus DNA; NC (OK) – negative control – H<sub>2</sub>O; 1 – DNA of lumpy skin disease virus; 2, 3 – DNA of goat pox virus; 4 – DNA of sheep pox virus

**Figure 4** – Specificity of oligonucleotide primers LSDV-2-f and LSDV-2-r

The high specificity of the PCR method is due to the fact that a unique DNA fragment characteristic only for this pathogen is detected in the research material. As can be seen from Figure 4, the specificity test of PCR showed positive results of samples containing DNA of lumpy skin disease virus: positive control and sample No.1. Negative results were obtained at using goat pox and sheep pox viruses as DNA matrixes (samples No.2, 3, 4).

Various researchers have proposed a number of PCR-based methods for differentiating representatives of the genus capripoxviruses, which by specificity were comparable to methods for isolating the virus in cell culture and exceeded it in sensitivity.

Diagnosis of lumpy skin disease of cattle is aimed at PCR analysis of specific RPO30 and GPCR genes of lumpy skin disease virus [8, 11]. Foreign researchers used oligonucleotide primers for the RPO30 gene encoded by the RNA polymerase protein, 30 kDa in size [12, 13] and the gene encoded by the P32 protein [11, 13] to detect and differentiate capripoxviruses. For exact and rapid detection of lumpy skin disease

virus it should be made an assessment of the GPCR gene encoded by the chemokine receptor, which contains a specific site belonging only to the genome of the lumpy skin disease virus [1, 6, 9, 14].

And also, it has been established the genetic diversity of field isolates circulating in different geographic regions using genome sequencing of representatives of capripoxviruses. For example, El-Tholoth M. and El-Kenawy A.A. showed that with multiple alignments of the nucleotide sequences of the GPCR gene of different lumpy skin disease isolates isolated from cattle, there were nine nucleotide mutations from the LSDV/Ismailyia88 control strain adapted to Egyptian tissue culture. Compared to the GPCR sequences of the SPV and GPV strains in the GPCR genes of our used isolates and other LSDVs were identified an insert of 21 nucleotides and a deletion of 12 nucleotides. The amino acid sequences of GPCR genes of our isolates contained a unique LSDV signature (A11, T12, T34, S99 and P199) [15].

As a result of the performed work have been designed oligonucleotide primers LSDV-2-f and LSDV-2-r (product size is 347 b.p.) for diagnosing



lumpy skin disease of cattle by polymerase chain reaction. The designed and synthesized primers LSDV-2-f and LSDV-2-r for the GPCR gene have high specificity and can be used to detect lumpy skin disease virus of cattle.

Therefore, the designed primers will be used to develop a domestic test-system for the diagnosis of lumpy skin disease of cattle.

### Conclusion

Specific primers LSDV-2-f and LSDV-2-r (20 pM) were designed and synthesized for the amplification of the GPCR gene fragment of lumpy skin disease virus as a result of the performed work by authors. These primers have high specificity. The obtained data indicate that it is possible to identify the DNA of lumpy skin disease virus from the DNA of sheep pox and goat pox using oligonucleotide primers LSDV-2-f and LSDV-2-r. Designed primers will be used in the future to develop a domestic PCR test-system for diagnosing lumpy skin disease of cattle.

### Conflict of interest

All authors have read and are familiar with the content of the article and do not have a conflict of interest.

### Funding

This work was carried out within the framework of the program and targeted funding: “Veterinary safety of the territory of the Republic of Kazakhstan: epizootological monitoring, testing, implementation and commercialization of means of specific prophylaxis and diagnosis of especially dangerous infectious diseases” (IRN BR06249226), Contract No. 28 dated September 10, 2018.

### Abbreviations

LSDV – lumpy skin disease virus; PCR – polymerase chain reaction; DNA – deoxyribonucleic acid; GPCR – G-protein-coupled chemokine receptor

### Литература

- Le Goff C., Lamien C.E., Fakhfakh E., Chadeyras A., Aba-Adulugba E., Libeau G. Capri-poxvirus G-protein-coupled chemokine receptor: a host-range gene suitable for virus animal origin discrimination // *J Gen Virol.* – 2009. – Vol. 90.
- Tulman E.R., Afonso C.L., Lu Z., Zsak L., Kutish G.F., Rock D.L. Genome of Lumpy Skin Disease Virus // *Journal of Virology.* – 2001. – Vol. 75 (15). – P. 7122 – 7130.
- El-Nahas E.M., El-Habbaa A.S., El-bagoury G.F., Mervat E.I. Radwan Isolation and Identification of Lumpy Skin Disease Virus from Naturally Infected Buffaloes at Kaluobia, Egypt // *Global Veterinaria.* – 2011. – Vol. 7 (3) – P. 234-237.
- Tulman E.R., Afonso C.L., Lu Z., Zsak L. The genomes of sheeppox and goatpox viruses // *J. Virol.* – 2002. – Vol. 76. – P. 6054 – 6061.
- Tian H., Chen Y., Wu J., Shang Y. Serodiagnosis of sheeppox and goatpox using an indirect ELISA based on synthetic peptide targeting for the major antigen P32 // *Virology.* – 2010. – Vol. 7. – P. 245.
- Su H.L., Jia H.J., Yin C., Jing Z.Z., Luo X.N., Chen Y.X. Phylogenetic analysis of Gansu sheeppox virus isolates based on P32, GPCR, and RPO30 genes // *Genetics and Molecular Research.* – 2015. – Vol. 14 (1). – P. 1887 – 1898.
- Ahn B.Y., Gershon P.D., Jones E.V. Moss B. Identification of rpo30, a vaccinia virus RNA polymerase gene with structural similarity to a eucaryotic transcription elongation factor // *Mol. Cell. Biol.* – 1990. – Vol. 10. – P. 5433 – 5441.
- Lamien C.E., Le Goff C., Silber R., Wallace D.B. Use of the Capripoxvirus homologue of Vaccinia virus 30 kDa RNA polymerase subunit (RPO30) gene as a novel diagnostic and genotyping target: development of a classical PCR method to differentiate Goat poxvirus from Sheep poxvirus // *Vet. Microbiol.* – 2011 (a). – Vol. 149. – P. 30-39.
- Zhou T, Jia H, Chen G, He X. Phylogenetic analysis of Chinese sheeppox and goatpox virus isolates // *Virology.* – 2012. – Vol. 9. – P. 25.
- Lamien C.E., Lelenta M, Goger W, Silber R. Real time PCR method for simultaneous detection, quantitation and differentiation of capripoxviruses // *J. Virol. Methods.* – 2011 (b). – Vol. 171. – P. 134 – 140.
- Hosamani M., Nandi S., Mondal B., Singh R.K., Rasool T.J., Bandyopadhyay S.K. AVero cell-attenuated Goatpox virus provides protection against virulent virus challenge // *Acta Virol.* – 2004. – Vol. 48. – P.15 – 21.
- Santhamani R., Yogisharadhya R., Venkatesan G., Shivachandra S.B., Pandey A.B., Ramakrishnan M.A. Detection and differentiation of sheeppox virus and goatpox virus from clinical samples using 30 kDa RNA polymerase subunit (RPO30) gene based PCR // *Veterinary World.* – 2013. – EISSN: 2231-0916. – Vol. 6. – P. 19.
- Ashraf S. Khameis, Lamyia F. Atteya, Ayman H. Mansour. Molecular detection and phylogenetic analysis of sheep pox virus in El Menofiya Governorate // *J. of Virol. Sci.* – 2018. – Vol. 3. – P. 49 – 57.
- Santhamani R., Yogisharadhya R., Venkatesan G., Bhadravati S., Pandey A.B., Ramakrishnan M.A. Molecular characterization of Indian sheeppox and goatpox viruses based on RPO30 and GPCR genes // *Virus Genes.* – 2014. – Vol. 49 (2).

El-Tholoth M, El-Kenawy A.A. G-Protein-Coupled Chemokine Receptor Gene in Lumpy Skin Disease Virus Isolates from Cattle and Water Buffalo (*Bubalus bubalis*) in Egypt // *Transbound Emerg Dis*. 2016 Dec;63(6):e288-e295. doi: 10.1111/tbed.12344. Epub 2015 Mar 9.

### References

- Ahn B.Y., Gershon P.D., Jones E.V. Moss B. (1990) Identification of rpo30, a vaccinia virus RNA polymerase gene with structural similarity to a eucaryotic transcription elongation factor. *Mol. Cell. Biol.*, vol. 10, pp. 5433-5441.
- Ashraf S. Khameis, Lamy F. Atteya, Ayman H. Mansour. (2018) Molecular detection and phylogenetic analysis of sheep pox virus in El Menofiya Governorate. *J. of Virol. Sci.*, vol. 3, pp. 49- 57.
- El-Nahas E.M., El-Habbaa A.S., El-bagoury G.F., Mervat E.I. (2011) Radwan Isolation and Identification of Lumpy Skin Disease Virus from Naturally Infected Buffaloes at Kaluobia, Egypt. *Global Veterinaria*, vol. 7 (3), pp. 234-237.
- Hosamani M., Nandi S., Mondal B., Singh R.K., Rasool T.J., Bandyopadhyay S.K. (2004) AVero cell-attenuated Goatpox virus provides protection against virulent virus challenge. *Acta Virol.*, vol. 48, pp.15–21.
- Lamien C.E, Le Goff C, Silber R, Wallace D.B. (2011(a) Use of the Capripoxvirus homologue of Vaccinia virus 30 kDa RNA polymerase subunit (RPO30) gene as a novel diagnostic and genotyping target: development of a classical PCR method to differentiate Goat poxvirus from Sheep poxvirus. *Vet. Microbiol.*, vol. 149, pp. 30-39.
- Lamien C.E, Lelenta M, Goger W, Silber R. (2011(b) Real time PCR method for simultaneous detection, quantitation and differentiation of capripoxviruses. *J. Virol. Methods*, vol. 171, pp. 134-140.
- Le Goff C., Lamien C.E., Fakhfakh E., Chadeyras A., Aba-Adulugba E., Libeau G. (2009) Capri-poxvirus G-protein-coupled chemokine receptor: a host-range gene suitable for virus animal origin discrimination. *J Gen Vi-rol.*, vol. 90.
- Santhamani R., Yogisharadhya R., Venkatesan G., Shivachandra S.B., Pandey A.B., Ramakrishnan M.A. (2013) Detection and differentiation of sheeppox virus and goatpox virus from clinical samples using 30 kDa RNA polymerase subunit (RPO30) gene based PCR. *Veterinary World*, EISSN: 2231-0916., vol. 6. p. 19.
- Santhamani R., Yogisharadhya R., Venkatesan G., Bhadravati S., Pandey A.B., Ramakrishnan M.A. (June 2014). Molecular characterization of Indian sheeppox and goatpox viruses based on RPO30 and GPCR genes. *Virus Genes*, vol. 49 (2).
- Su H.L., Jia H.J., Yin C., Jing Z.Z., Luo X.N., Chen Y.X. (2015) Phylogenetic analysis of Gansu sheeppox virus isolates based on P32, GPCR, and RPO30 genes. *Genetics and Molecular Research*. vol. 14 (1), pp. 1887-1898.
- Tian H., Chen Y., Wu J., Shang Y. (2010) Serodiagnosis of sheeppox and goatpox using an indirect ELISA based on synthetic peptide targeting for the major antigen P32. *Virol. J.* vol. 7, pp. 245.
- Tulman E.R., Afonso C.L., Lu Z., Zsak L., Kutish G.F., Rock D.L. (2001) Genome of Lumpy Skin Disease. *Virus. Journal of Virology*, vol. 75 (15), pp. 7122-7130.
- Tulman E.R., Afonso C.L., Lu Z., Zsak L. (2002) The genomes of sheeppox and goatpox viruses. *J. Virol.*, vol. 76. pp. 6054-6061.
- El-Tholoth M, El-Kenawy A.A. G-Protein-Coupled Chemokine Receptor Gene in Lumpy Skin Disease Virus Isolates from Cattle and Water Buffalo (*Bubalus bubalis*) in Egypt .. *Transbound Emerg Dis*. 2016 Dec;63(6):e288-e295. doi: 10.1111.tbed.12344. Epub 2015 Mar 9.
- Zhou T, Jia H, Chen G, He X. (2012) Phylogenetic analysis of Chinese sheeppox and goatpox virus isolates. *Virol. J.* vol. 9, p.25.

**Кажымуратова Ж.С.\* , Мамышева М.В.**

Западно-Казахстанский государственный университет им. М. Утемисова,  
Казахстан, г. Уральск, \*e-mail: zhannat\_007@mail.ru

## **КРАТКИЙ АНАЛИЗ ФЛОРЫ ПОЙМЕННЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ УРАЛ В ПРЕДЕЛАХ ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Пойменные леса занимают незначительную площадь, всего 0,4% от всей территории нашей области и играют почвозащитную и водоохранную роль не только для нашей страны, но и для сопредельной территории, а также леса являются экологическим барьером для уменьшения процессов опустынивания. Поэтому постоянный мониторинг состояния растительного покрова бассейна р. Урал является важным процессом. Так как пойма р. Урал является убежищем для редких, исчезающих и эндемичных растений, изучение закономерностей формирования растительного покрова, выявление его антропогенной трансформации, разработка мероприятий рационального использования, выявление редких и исчезающих видов растений и сообществ является на данный момент действительно актуальным. В данной статье дается краткий анализ флоры пойменных лесов среднего течения реки Урал в пределах Акжайыкского района Западно-Казахстанской области. Целью работы являлось исследование флоры лесных пойменных сообществ р. Урал района исследования, ее анализ, а также выявление групп растений, имеющих хозяйственное значение. Материалом послужили результаты научно-исследовательской работы, проведенной в период с 1994 года по 2018 год. Объектом исследования являлась флора пойменных лесов среднего течения реки Урал в зоне опустыненных степей. Исследование проводилось на 12 полустационарных участках на правом и левом берегах среднего течения р. Урал на территории Акжайыкского района Западно-Казахстанской области.

В результате полевых исследований данного района было выявлено 256 видов сосудистых растений, относящихся к 53 семействам и 150 родам. Анализ показал присутствие 20 жизненных форм и преобладание стержнекорневых травянистых поликарпиков длиннокорневищных поликарпиков, а также двулетних среди травянистых монокарпиков. Присутствие большого количества монокарпиков, как однолетних, так и двулетних, свидетельствует об усилении антропогенного влияния на исследуемой территории.

Во флоре также отмечено 8 эколого-фитоценологических групп. Из 256 видов преобладающими являются луговые виды – 105; 41%. В связи с падением уровня грунтовых вод и сухости климата мезофильные виды в количестве 31 в 2009, 2011, 2016 годах были не обнаружены. Богатый флористический состав изучаемых пойменных лесов позволил выделить 11 хозяйственно-ценных групп. Первое место занимают кормовые растения – 66 видов. В процентном отношении кормовые растения составляют – 25,7%, лекарственные – 16,7%, медоносные – 16%, технические – 11,6%, ядовитые – 7%, красильные и дубильные – 6%, эфиромасличные – 5%.

Таким образом, изучаемый уникальный ландшафт Прикаспийской низменности нуждается в постоянном мониторинге с целью сохранения пойменных экосистем, включающих мероприятия по их восстановлению, искусственному лесоразведению и рациональному использованию.

**Ключевые слова:** флора, пойменные леса, экосистема.

Kazhymuratova Zh.S.\* , Mamysheva M.V.

West-Kazakhstan State University named after M. Utemisov,  
Kazakhstan, Uralsk, \*e-mail: zhannat\_007@mail.ru

### **A brief analysis of the flora of floodless forests of the middle flow of the Ural river within the West-Kazakhstan region**

Floodplain forests occupy an insignificant area, only 0.4% of the entire territory of our region and play a soil- and water-protective role not only for our country, but also for the adjacent territory. These forests are also an ecological barrier for reducing desertification processes. Therefore, constant monitoring of the vegetation cover of the Ural River basin is an important process. Since the floodplain of the Ural River is a shelter for rare, endangered and endemic plants, the study of the laws governing

the formation of vegetation, the identification of its anthropogenic transformation, the development of measures for rational use, the identification of rare and endangered species of plants and communities is really relevant at the moment. This article gives a brief analysis of the Ural River middle reaches floodplain forests flora within one of the West Kazakhstan region`s district Akzhayik. The aim of the work was to study forest floodplain communities` flora of the Ural River of the study area, its analysis, as well as the identification of plant groups of economic importance. The material was the results of research conducted in the period from 1994 to 2018. The object of the study was the Ural River middle reaches floodplain forests flora in the zone of desert steppes. The study was conducted in 12 semi-stationary sections on the right and left banks of the Ural River middle reaches in the territory of Akzhayik – one of the West Kazakhstan region.

As a result of field studies in this region, 256 species of vascular plants belonging to 53 families and 150 genera were identified. The analysis showed the presence of 20 life forms and the predominance of rod-root herbaceous polycarpics of long-rhizome polycarpics, as well as biennials among grassy monocarpics. The presence of a large number of monocarpics, both annual and biennial, indicates an increase in anthropogenic impact on the study area.

In the flora, 8 ecological-phytocenotic groups were also noted. Meadow species are predominant among 256 species – 105; 41%. Due to the groundwater level decrease and dry climate, mesophilic species in the amount of 31 were not found in 2009, 2011, 2016. The rich floristic composition of the studied floodplain forests made it possible to distinguish 11 economically valuable groups. The first place is occupied by fodder plants – 66 species. In percentage terms, fodder plants account for 25.7%, medicinal 16.7%, melliferous 16%, technical 11.6%, poisonous 7%, dyeing and tannin 6%, essential oil 5%.

Thus, the studied unique landscape of the Caspian lowland needs constant monitoring in order to preserve floodplain ecosystems, including measures for their restoration, artificial afforestation and rational use.

**Key words:** flora, floodplain forests, ecosystem.

Кажымуратова Ж.С.\* , Мамышева М.В.

М. Өтемисов атындағы Батыс Қазақстан мемлекеттік университеті,  
Қазақстан, Орал қ., \*e-mail: zhannat\_007@mail.ru

### **Жайық өзені ортаңғы ағысы тұсында орналасқан Батыс Қазақстан облысының жайылма ормандары флорасының қысқаша талдауы**

Жайылма ормандары облысымыздың аумағының 0,4% алып жатқанымен, көршілес аудандармен біздің облысымызда топырақ бекіту мен су қорғау жүйесінде маңызды роль атқарады, сонымен қатар, шөлдену процесінде экологиялық барьер қызметін атқарады. Сондықтан да Жайық өзені бассейнінің өсімдік жамылғысына мониторинг жүргізу маңызды процесс болып табылады.

Жайық өзенінің жайылма ормандары сирек кездесетін және жойылып бара жатқан өсімдіктер мен эндемиктердің қорғанатын жері болғандықтан, өзен жайылмасындағы өсімдік жамылғысының таралу заңдылықтарын зерттеу жұмыстарын жүргізу және оған антропогендік фактордың әсерімен қатар, тиімді пайдалану шараларын даярлау маңызды болып табылады.

Бұл мақалада Жайық өзені аңғарының ортаңғы ағысында орналасқан Батыс Қазақстан облысы, Ақжайық ауданы маңы жайылма ормандары флоралық құрамының талдауы берілген. Жұмыстың басты мақсаты жайылма ормандарының флоралық құрамын зерттеу, талдау жүргізу және шаруашылық маңызы бойынша топтастыру. Зерттеу мәліметтері 1994-2018 жылдар аралығындағы ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелеріне сүйене отырып жасалған. Зерттеу объектісі ретінде шөлейттенген аймақта Жайық өзені ортаңғы ағысында орналасқан жайылма ормандары алынды. Зерттеу жұмыстары Жайық өзенінің ортаңғы ағысы тұсында орналасқан аумақта өзеннің оң және сол жағалауларында 12 бақылау алаңында жүргізілген.

Зерттеу жұмыстарының нәтижесінде 53 тұқымдасқа, 150 туысқа біріктірілген 256 түр тіркелді. Флоралық құрамын зерттеу нәтижесінде, 20 түрлі тіршілік формасының кіндік тамырлы, ұзын тамырсабақты поликарпиктердің басымдығы байқалса, шөптесін монокарпиктердің ішінде екіжылдық және біржылдық өсімдіктердің басымдығы зерттеу ауданындағы өсімдік жамылғысына антропогендік фактордың басымдығын айқындайды.

Зерттеу ауданының флоралық құрамында 8 экологиялық фитоценодикалық топ анықталды, тіркелген 256 түрдің 105-і шалғындық, ол жалпы түрдің 41 % құрайды. Ауа-райының құрғақшылығы, жер асты суларының деңгейінің төмендеуі мезофилдік түрлердің санына әсер етті: ол 31 түрді көрсетсе, 2009, 2011, 2016 жылдары тіркелмеген. Зерттеу жүргізілген аймақтағы флоралық құрамының байлығы өсімдіктер жамылғысын 11 топқа біріктірді, олардың ішінде

66 түрді құрайтын малға азықтық түрлер бірінші орында орналасса, ол жалпы түрдің 25,7 % құрайды.

Емдік мақсатта қолданылатын өсімдіктер 16,7%, аралар бал жинайтын 16%, техникалық мақсатта 11,6%, улы өсімдіктер 7%, бояу алатын және илік өсімдіктер 6%, эфиромайлылар 5% құрайды.

Қорытындылай келе, Каспий маңы ойпатының ландшафты үнемі жайылма экожүйесін сақтау мақсатында оны қалпына келтіру және тиімді пайдалану шараларына мониторинг жүргізуді қажет етеді.

**Түйін сөздер:** флора, жайылма ормандары, экожүйе.

## Введение

Пойменные леса района исследования выполняют биосферные функции и имеют большое экономическое значение. На протяжении последних лет они испытывают все возрастающие нагрузки в результате интенсивного хозяйственного использования, лесных пожаров и воздействия локального и регионального промышленного загрязнения. Перед современной экологией стоят задачи детального исследования особенностей реакции лесных биогеоценозов на изменение факторов внешней среды, совершенствования методов изучения их структуры и динамики, биоиндикации техногенного загрязнения, а также прогнозирования последствий различных антропогенных и природных нарушений. В первую очередь необходимо было обратить внимание на трансформацию растений, зависящую от антропогенного воздействия [1-6].

Формированию флоры способствует географическое положение р.Урал, которая начинается в лесной зоне, протекает по степной, затем в полупустынной и пустынной зонах. Пойма р. Урал является убежищем для редких, исчезающих и эндемичных растений. Таким образом, изучение закономерностей формирования растительного покрова, выявление его антропогенной трансформации, разработка мероприятий рационального использования, выявление редких и исчезающих видов растений и сообществ является на данный момент действительно актуальным.

Основной целью нашей работы являлось исследование флоры лесных пойменных сообществ р. Урал района исследования, ее анализ, а также выявление групп растений, имеющих хозяйственное значение.

В административном отношении исследуемый район находится в пределах Акжайыкского района в центре Западно-Казахстанской области по правому и левому берегам реки Урал. В природном отношении район изучения находится в пустынно-степной природной подзоне в пределах Прикаспийской низменности (рис.1).

Задачами исследования были следующие:

- Изучение литературных, фондовых, картографических и статистических материалов об исследуемом регионе.
- Проведение натурных полевых наблюдений в районе исследования.
- Анализ флоры пойменных лесов района исследования.
- Отражение влияния антропогенного фактора на уникальные пойменные экосистемы.



Рисунок 1 – Карта-схема района исследования

Материалом послужили результаты научно-исследовательской работы, проведенной в период с 1994 года по 2018 год. Объектом исследования являлась флора пойменных лесов

среднего течения реки Урал в зоне опустыненных степей. Исследование проводилось на 12 полустационарных участках на правом и левом берегах среднего течения р. Урал на территории Акжайыкского района Западно-Казахстанской области. Исследование проводилось в сочетании с рекогносцировочными маршрутами и протяженностью 2000 км.

Сбор и обработка гербарного материала осуществлялись по общепринятой методике А.К. Скворцова [7]. При определении гербария были использованы следующие многотомные сводки: «Флора СССР», «Флора Казахстана», «Иллюстрированный определитель растений Казахстана», определители растений в сборнике «Материалы по флоре и растительности Северного Прикаспия» В.В. Иванова (1964-1969) [8]. Латинские названия растений уточнены по сводке С.К. Черепанова (1995) [9] и по «Списку сосудистых растений Казахстана» С.А. Абдуллиной (1999) [10]. Анализ экобиоморф проводился с

учетом методик, разработанных А.П. Шенниковым, И.С. Серебряковым [11]. Объединение элементов флоры в группы ареалов проводилось согласно работе Е.А. Агелеуова (1982) [12].

## Результаты и обсуждение

### Таксономический анализ

Биоразнообразие во флоре исследуемого района достаточно высокое из-за различных экологических условий. На исследуемой территории зарегистрировано 256 видов сосудистых растений, относящихся к 53 семействам и 150 родам. Основу данной флоры образуют цветковые растения (255 видов; 99,6%), среди которых преобладают двудольные (83,5%). На долю архегониальных растений приходится 0,4%. Это *Equisetum arvense* L., *Salvinia natans* (L.) Всего во флоре отмечено 53 семейства, анализ показателей таксономического богатства ведущих семейств приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели таксономического богатства флоры пойменных лесов среднего течения р. Урал в пределах ЗКО

Семейство	Число видов	% видов	Число родов	% родов
<i>Asteraceae</i>	50	19,5	28	18,7
<i>Poaceae</i>	23	8,9	15	10
<i>Fabaceae</i>	16	6,3	9	6
<i>Brassicaceae</i>	15	5,9	13	8,7
<i>Lamiaceae</i>	14	5,5	10	6,7
<i>Rosaceae</i>	12	4,7	12	8
<i>Chenopodiaceae</i>	11	4,3	2	1,3
<i>Cyperaceae</i>	8	3,1	4	2,7
<i>Salicaceae</i>	7	2,7	2	1,3
<i>Apiaceae</i>	6	2,3	6	4
<i>Boraginaceae</i>	6	2,3	6	4
<i>Ranunculaceae</i>	5	1,9	5	3,3
<i>Scrophulariaceae</i>	5	1,9	5	3,3
<i>Plantaginaceae</i>	5	1,9	1	0,7

Семейственно-видовой спектр возглавляют *Asteraceae*, *Poaceae*, *Fabaceae*, вместе охватывающие 34,7 % общего видового состава. Десять семейств, преобладающих по числу видов, охватывают 63, 2 % видового состава флоры. По представительству родов заметно преобладает сем. *Asteraceae* (28 родов). Обращает внимание повышение в родовом спектре роли сем. *Bras-*

*sicaceae* (13 родов) и сем. *Rosaceae* (12 родов), сем. *Lamiaceae* (10 родов) при меньшем участии родов сем. *Fabaceae* (9 родов). Наиболее крупными являются роды *Artemisia* (9 видов), *Salix* (7 видов), *Chenopodium* (6 видов), для рода *Bromus* характерно 5 видов, в родах *Sonchus*, *Medicago*, *Rumex*, *Carex*, *Galium* по 4 вида. Высокий показатель, где пять ведущих семейств,

включают в себя почти половину видов и родов, свидетельствует о возможно сформированном стабильном «ядре» анализируемой флоры, составленном из представителей характерных для пойменных лесов зоны опустыненных степей Голарктики.

Влияние различных экологических факторов и приспособительные реакции растений отражаются в спектре жизненных форм [11]. Установлено, что во флоре, а также в основе сложившейся растительности преобладают травянистые поликарпики – 160 видов (63%), среди которых выделяются стержнекорневые растения – 48 видов (19 %), *Medicago falcate L.*, *M. Romanica Prod.*, *M. Sativa L.* *Euphorbia palustris L.*, *Phlomis pungens Willd* и др. (таблица 2). Достаточно многочисленными являются длиннокорневищные поликарпики – 42 вида (16,4%) и короткокорневищные поликарпики в количестве 27 видов, что составляет 11%. К короткокорневищным видам относятся такие виды как *Carex leporina L.*, *Crinitaria tatarica (Less.) Czer* и др. К длиннокор-

невищным относятся виды: *Aeluropus littoralis (Gouan) Parl.*, *Inula germanica.*, *Elytrigia repens (L.) Nevski*, *Glycyrrhiza glabra L.*, *Calamagrostis epigeios (L.) Roth.* и др. Незначительное количество составляют виды, относящиеся к таким жизненным формам как клубневые, клубнеобразующие и луковичные поликарпики, на их долю приходится всего 0,8% и 1,2% соответственно, а также дерновинные (0,8%). Значительную часть составляют травянистые монокарпики – 67 видов (26%). Присутствие большого количества монокарпиков, как однолетних, так и двулетних, может вероятно, свидетельствовать об усилении антропогенного влияния на исследуемой территории.

Количество видов древесно-кустарниковых форм составляет 7,3%. Они чаще всего приурочены к берегам стариц и берегам реки Урал: *Populus alba L.*, *P. Nigra L.*, *Salix alba L.*, *S. triandra L.*, *S. pentandra L.* Такие кустарники как *Prunus spinosa L.*, *Rhamnus cathartica L.*, *Rosa canina L.* приурочены к гривам центральной поймы.

Таблица 2 – Распределение флоры по жизненным формам пойменных лесов среднего течения реки Урал

№	Жизненные формы	Количество видов	% от общего числа
I	Деревья	8	3,1
II	Кустарники	11	4,2
III	Кустарнички	0	0
IV	Полукустарники	5	2
V	Полукустарнички	5	2
VI	Травянистые поликарпики	160	63
	стержнекорневые	48	19
	стержнекистевые	0	0
	кистекарневые	6	2,3
	короткокарневые	4	1,6
	Дерновинные поликарпики	16	6,3
	плотнoderновинные	9	3,6
	дерновинные	2	0,8
	рыхлодерновинные	5	2
	Длиннокорневищные поликарпики	79	31
	длиннокорневищные	42	16,4
	короткокорневищные	27	11
	корневищные	10	4
	Клубнеобразующие поликарпики		
	клубнеобразующие	3	1,2

Продолжение таблицы 2

	клубневые	2	0,8
Луковичные поликарпики			
	луковичные	2	0,8
VII	Травянистые монокарпики	67	26
	двулетники	42	16,4
	однолетники	25	9,8

Среди травянистых поликарпиков преобладающими в численном отношении являются стержнекорневые и длиннокорневищные виды.

Минимальными в численном отношении являются такие травянистые поликарпики, как короткокорневые и кистекарпиковые, а стержнекистевые виды растений отсутствуют. Корневищные, корнеотпрысковые растения и дерновинные злаки играют большую роль в закреплении склонов, ослабляя при этом эрозионные процессы.

В целом данный анализ показал присутствие 20 жизненных форм и преобладание стержнекорневых травянистых поликарпиков длиннокорневищных поликарпиков, а также двулетников среди травянистых монокарпиков.

#### *Эколого-фитоценотический анализ*

В флоре отмечено 8 эколого-фитоценологических групп (таблица 3). Из 256 видов преобладающими являются луговые виды – 105; 41%.

**Таблица 3** – Эколого-фитоценологические группы растений во флоре пойменных лесов среднего течения реки Урал

Группы	Подгруппы	Число видов	% видов
Лесные		24	9,3
	Лесные	16	6,3
	Лесолуговые	8	3,1
Луговые		105	41
	Луговые	93	36,3
	луговолесные	12	4,7
Степные		82	32
	Степнолуговые	13	5
	Степные	38	15
	Луговостепные	31	12
Пустынные		14	5,5
	Пустынные	2	0,8
	Пустынно-степные	12	4,7
Прибрежно-водные		15	5,9
	Прибрежно-водные	12	4,7
	Водные	3	1,8
Сорные		44	17



Второе место занимают степные виды 82;32%, третье место принадлежит лесным 24;9,3%. Доля сорных видов составляет 17% (44 видов). Большая часть видов приурочена к пойменным лугам: *Artemisia abrotanum* L., *A. dracuncululus* L., *Agrostis albida* Trin., *Chenopodium glaucum* L., *Ch. rubrum* L., *Glycyrrhiza glabra* L., *G. echinata* L., *Inula britanica* L., *I. salicina* L. Степные виды приурочены к повышенным участкам рельефа, встречаются на возвышенностях, гривах центральной поймы: *Xanthium strumarium* L., *Tamarix laxa* Willd., *Poa bulbosa* L., *Medicago romanica* Prod., *Bromus tectorum* L., *Artemisia austriaca* Jacq., *A. arenaria* DC. В связи с падением уровня грунтовых вод и сухости климата именно мезофильные виды в 2009, 2011, 2016 годах нами не обнаружены. Это следующие виды: *Equisetum arvense* L., *E. palustre* L., *E. pratense* Ehrh., *E. sylvaticum* L., *Melica altissima* L., *M. nutans* L., *Silene viscosa* (L.) Pers. (*Melandrium viscosum* (L.) Celak.), *Ribes nigrum* L., *Malus sylvestris* Mill., *Crataegus ambigua* C. A. Mey. ex A. Beck., *Trifolium pratense* L., *Lathyrus pannonicus* (Jacq.) Garcke, *L. pisiformis* L., *L. pratensis* L., *Frangula alnus* Mill., *Viola canina* L., *V. collina* Bess., *Lythrum salicaria* L., *L. virgatum* L., *Epilobium hirsutum* L., *E. nervosum* Boiss. et Buhse, *E. palustre* L., *E. tetragonum* L., *Melissa officinalis* L., *Mentha longifolia* (L.) Huds., *Veronica anagallis-aquatica* L., *Galium boreale* L., *Valeriana officinalis* L., *Adenophora lilifolia* (L.) A. DC., *Campanula bononiensis* L., *C. rapunculoides* L., *Solidago virgaurea* L.

Таким образом, на уровне видового мезофитного разнообразия генофонд поймы Урала обеднен на 12 %. Исчезновение видов привело к сокращению природного генофонда и снижению продуктивности естественной пойменной растительности. Исчезли виды, находящиеся на границе своего ареала распространения, южнее и восточнее нашей области эти виды не встречаются.

За счет своеобразных экологических условий на территории исследования сохранились редкие растения: третичные реликты *Salvinia natans* (L.) All. (фото 1) и *Trapa natans* L. (фото 2), а также *Nymphaea alba* L. (фото 3), *Nuphar lutea* (L.) Smith. (фото 4). Это уникальный ландшафт Прикаспийской низменности, в котором присутствуют растения пустынь, степей и лесостепей.

Богатый флористический состав изучаемых пойменных лесов позволяет выделить 11 хозяйственно-ценных групп. Первое место занимают кормовые растения – 66 видов. К ним

относятся представители таких родов как *Artemisia*, *Koeleria*, *Agrimonia*, *Agropiron*, *Agrostis*, *Bromopsis*, *Bromus*.

Технические растения разделяются на: дающие деловую и поделочную древесину (6), фитомелиоранты обрывов (6) и песчаных склонов (2); древесно-кустарниковые, используемые в озеленении (4); плетеночные (10); волокнисто-пряжильные (2).



Фото 1 – Сальвиния плавающая  
*Salvinia natans* (L.) All.



Фото 2 – Водяной орех чилим  
*Trapa natans* V.



Фото 3 – Кувшинка белая  
*Nymphaea alba* L.

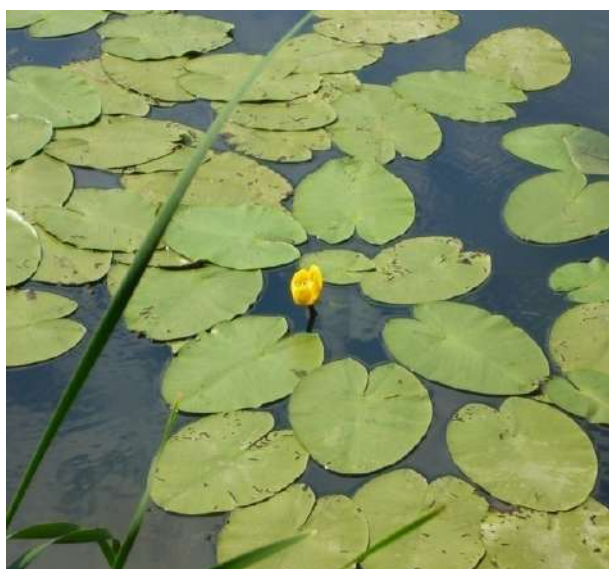


Фото 4 – Кубышка желтая  
*Nuphar lutea* (L.) Smith.

В качестве технических культур используют следующие виды древесных растений: *Populus alba* L., *Salix alba* L., *Populus nigra* L., *Ulmus laevis* Pall., *Ulmus pumila* L., *Acer negundo* L.

К фитомелиорантам зоны опустыненных степей относятся кустарники: *Spiraea crenata* L., *Prunus spinosa* L., ***Lonicera tatarica* L.**, *Rhamnus cathartica* L.; корневищные многолетники: *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub., ***Bromus riparia* (Rehm.) Holub.**, *Carex leporina* L., *C. mela-*

*nostachya* Bied. ex Willd., *C. praecox* Schrev., *C. spicata* Huds., *C. vulpina* L.; **дерновинные злаки:** *Agropiron desertorum* Fisch ex Link. Schult, *A. pectinatum* (Bieb.) Beauv., *Festuca pratensis* Huds, *Koeleria cristatum* (L.) Beauv, стержнекорневые виды из родов *Astragalus*, *Gypsophila*, *Medicago*, *Kochia*, *Artemisia*. К **лесным фитомелиорантам** относятся следующие виды: *Populus alba* L., *Salix alba* L., *Ulmus laevis* Pall., а из интродуцированных видов: *Acer negundo* L., *A. tataricum* L., *Fraxinus americana* L.

Укрепителями **песчаных склонов** являются: *Artemisia arenaria* DC, *Agropiron desertorum* Fisch ex Link. Schult.

Второе место занимают лекарственные растения, которые подразделяются по месту обитания на лесные, луговые, степные и прибрежноводные. Лесные лекарственные виды: *Arctium lappa* L., *Asparagus officinalis* L., *Consolida redalis* S.F. Gray., *Equisetum palustre* L., *Gallium aparine* L., *Inula britannica* L., *I. germanica* L., *I. salicina* L., *Leonurus cardiaca* L., *Lycopus europaeus* L., *Rhamnus cathartica* L., *Rubus caesius* L., *Salvia pratensis* L.

Из луговых наиболее характерны: *Sanguisorba officinalis* L., *Tanacetum vulgare* L., *Achillea millefolium* L., *Bidens tripartita* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Glycyrrhiza glabra* L., *G. echinata* L., *Gratiola officinalis* L., *Matricaria perforata* L.

К **степным лекарственным растениям** относятся следующие виды: *Melilotus albus* L., *M. officinalis* L. Pall., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Xanthium strumarium* L., *Ferula caspica* Bied.

Прибрежноводные лекарственные растения: *Butomus umbellatus* L., *Poligonum hydropiper* (L.) Spanch.

В качестве сырья для изготовления плетеных изделий, таких как корзины, циновки, щиты для оград, используются следующие виды: *Salix fragilis* L., *S. alba* L., *S. viminalis* L., *S. triandra* L., *S. acutifolia* Wild., а также *Typha angustifolia* L., *T. latifolia* L., *Scirpus lacustris* L., *S. supines* L., *Butomus umbellatus* L., *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla.

Наиболее широко распространенными из числа используемых в озеленении являются: *Populus alba* L., *Ulmus laevis* Pall.

Ценными волокнистыми растениями являются: *Urtica dioica* L., *Cannabis ruderalis* Janisch.

Декоративное значение имеют *Calystegia sepium* (L.) R. Br., *Althaea officinalis* L. *Sedum telephium* L., *Silene multiflora* (Ehrh.) Pers., *Spiraea crenata* L., *Thalictrum minus* L., *Veronica*

*longifolia* L., *Iris pseudocorus* L., *Lytrum salicaria* L. Возможность их использования обуславливается их приспособлением к климатическим и почвенным условиям нашей области.

Медоносные растения: *Agrimonia pilosa* Ledeb., *Alisma plantago-aquatica* L. *Bidens tripartita* L. *Carduus acantoides* L. *Centaurea scabiosa* L. *Cichorium intybus* L. *Dracocephalum thymiflorum* L. *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. *Lathyrus pratensis* L., *Melilotus albus* (L.) Medik., *M. officinalis* L. Pall., *Potentilla anserine* L., *P. argentea* L., *P. bifurca* L., *P. humifusa* Willd ex Schecht., виды рода *Salix*.

Из плодовых и ягодных растений жителями Западно-Казахстанской области широко используются ежевика (*Rubus caesius* L.), терн (*Prunus spinosa* L.), шиповник (*Rosa majalis* Herzm.). *Rumex acetosa* L. употребляют в пищу как в сыром, так и в вареном виде. Среди пряных растений широко используются следующие виды растений: *Artemisia dracuncululus* L., *Mentha arvensis* L., *Potamogeton natans* L. К суррогатам кофе и чая относятся: *Cichorium intybus* L., *Taraxacum officinalis* L.

Из ядовитых растений широко распространены следующие виды: *Aristolochia clematitis* L., *Ceratocephala testiculata* Crantz Bess., *Clematis orientalis* L., *Cuscuta lupuliformis* Krosk., *Cynanchum acutum* L., *Euphorbia palustris* L., *Lactuca tatarica* (L.) C.A. Mey., *Ranunculus polyrhizus* Steph., *R. repens* L., *Solanum dulcamara* L., *Thalictrum flavum* L.

Среди инсектицидных растений наиболее характерными являются: *Achillea millefolium* L., *Matricaria perforata* L., *Dodartia orientalis* L.

Красильные растения: *Rhamnus cathartica* L. дает зеленую окраску, сок растения *Rubus caesius* L. окрашивает ткани в черный цвет, *Limonium gmelini* (Willd.) O. Kuntze и *Onosma tinctoria* Bieb. дают красную краску.

Эфиромасличные растения: *Artemisia absinthium* L., *A. dracuncululus* L., *Achillea millefolium* L.,

*Erigeron canadensis* L., *Matricaria perforata* L., *Ptarmica vulgaris* Hill.

Витаминоносные растения: *Cirsium setosum* (Bieb) Fisch., *Arctium tomentosum* Mill., *A. lappa* L., *Achillea millefolium* L., *Allium lineare* L., *Sonchus asper* (L.) Hill., *S. oleraceus* L., *Matricaria perforata* L.

Широко распространенными дубильными растениями являются: *Tamarix laxa* Willd., *T. ramosissima* Ledeb., *Limonium gmelini* (Willd.) O. Kuntze, *Lytrum salicaria* L., *L. virgatum* L.

Кроме растений ценных в хозяйственном отношении выделяются редкие растения и их популяций, находящиеся на крайнем южном и юго-восточном пределе ареала распространения. Видом, занесенным в Красную книгу Казахстана, является *Trapa natans* L. – Водяной орех, чилим, рогольник плавающий, третичный реликт, который встречается на озере Боброво в Акжайыкском районе. В связи с усыханием русла реки Урал и малых рек происходит резкое исчезновение данного вида, а также сокращается численность таких видов как: *Salvinia natans* (L.) All., *Nymphaea alba* L. (краснокнижный вид), *Nuphar lutea* L.

Таким образом, в результате полевых исследований данного района в период с 1994 г. по 2018 г. было выявлено 256 видов сосудистых растений, выделено 11 групп растений, ценных в хозяйственном отношении, а также отмечены виды, являющиеся редкими и исчезающими. В процентном отношении кормовые растения составляют 25,7 %, лекарственные – 16,7%, медоносные – 16%, технические – 11,6%, ядовитые – 7%, красильные и дубильные – 6%, эфиромасличные – 5%.

Из этого следует, что пойма реки Урал является резерватом пойменной растительности и для сохранения данных видов необходима организация особо охраняемой природной территории, а именно биосферного заповедника в пределах бассейна реки Урал.

## Литература

- Tockner K., Stanford J.A. Riverine flood plains: present state and future trends // Environmental Conservation. – 2002. – Vol. 29, No 3. – P. 308–330. DOI:10.1017/S037689290200022X
- Naraszthy L. The floodplain forests in Hungary. In: The Floodplain Forests in Europe, ed. E. Klimo & H. Hager, 2001. – P. 17–24.
- Lugo, A.E., Brinson, M. & Brown, S., eds. Ecosystems of the World. 15: Forested Wetlands. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 1990
- Brown A.G., Harper D., Peterken G. F. Global Ecology and Biogeography Letters // Floodplain Forests: Structure, Functioning and Management. – 1997. – Vol. 6, No. ¾. – P. 169-178

- Paal J., Rannik R., Jeletsky E., Prieditis N. Floodplain forests in Estonia: Typological diversity and growth conditions //Folia Geobotanica. – 2007. – Vol. 42, No 4. – P. 383–400
- Hughes F.M.R. The ecology of floodplain forests in semi-arid and arid zones: a review. Journal of Biogeography. – 1988. – Vol. 15. – P. 127–140
- Скворцов А.К. Гербарий. Пособие по методике и технике. – М., 1977. – 199 с.
- Иванов В.В. Материалы по флоре растительности Северного Прикаспия. – Л., 1953-1974. – 2-6-издания.
- Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). – СПб., 1995. – 991 с.
- Абдулина С.А. Список сосудистых растений Казахстана. – Алматы, 1999. – 187 с.
- Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. – М., 1962. – 378 с.
- Агелеуов Е.А. Пойменные луга р. Урал. – Алма-Ата, 1982. – 224 с.

#### References

- Abdulina S.A. (1999) Spisok sosudistyh rastenii Kazakhstana [List of vascular plants in Kazakhstan]. Almaty, 187 p.
- Ageleuov E.A. (1982) Poimennyye luga r. Ural [Floodplain meadows of the Ural river]. Alma-Ata, 224 p.
- Brown A.G., Harper D., Peterken G. F. (1997) Global Ecology and Biogeography Letters. Floodplain Forests: Structure, Functioning and Management., vol. 6, no. 3/4, pp. 169-178
- Cherepanov S.K. (1995) Sosudistye rasteniya Rosii i sopredelnyh gosudarstv [Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR)]. SPb., 991 p.
- Haraszthy L. (2001) The floodplain forests in Hungary. In: The Floodplain Forests in Europe, ed. E. Klimo & H. Hager, pp. 17–24.
- Hughes F.M.R. (1988) The ecology of floodplain forests in semi-arid and arid zones: a review. Journal of Biogeography, vol. 15, pp. 127–140
- Ivanov V.V. (1953-1974) Materialy po flore rastitelnosti Severnogo Prikaspiya [Materials on the flora of the vegetation of the Northern Caspian]. L., 2-6 – editions
- Lugo, A.E., Brinson, M. & Brown, S., ed al. (1990) Ecosystems of the World. 15: Forested Wetlands. Amsterdam, The Netherlands:Elsevier
- Paal J., Rannik R., Jeletsky E., Prieditis N. (2007) Floodplain forests in Estonia: Typological diversity and growth conditions .Folia Geobotanica, vol. 42, no 4, pp. 383–400
- Serebryakov I.G. (1962) Ecologicheskaya morfologiya rastenii [Ecological morphology of plants]. M., 378 p.
- Skvortsov A.K. Gerbarii. (1977) Posobiye po metodike i tehnike [Herbarium. The manual on a technique and equipment]. M., 199 p.
- Tockner K., Stanford J.A. (2002) Riverine flood plains: present state and future trends . Environmental Conservation, vol. 29, no 3, pp. 308–330. DOI:10.1017.S037689290200022X

## МАЗМҰНЫ – CONTENTS – СОДЕРЖАНИЕ

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
<i>Керімбай Б.С., Джаналеева К.М., Керімбай Н.Н.</i>		
Биотические факторы и почвенный покров бассейна реки Шарын .....		4
<i>Тастамбек К.Т., Акимбеков Н.Ш., Каирбеков Ж.К., Джелдыбаева И.М., Зиябекова М.У., Жубанова А.А., Дигель И.Э.</i>		
Роль углеродородокисляющих бактерий <i>Acinetobacter pittii</i> , <i>RKB1</i> , <i>Bacillus sp.</i> <i>RKB2</i> в процессах биосольюбилизации бурого угля месторождения Киякты (г. Караганды, Казахстан) .....		15
<i>Салмурзаулы Р., Нуртазин С.Т., Конысбаев Т. Г., Икласов М.К., Бараков Р.Т., Элебесов Т.А., Саулауов М.Ж.</i>		
Биосферный резерват «Акжайык» – динамика изменений с 1980 года, современное состояние, основные риски и угрозы .....		24
2-бөлім Қоршаған орта ластаушыларының биотаға 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 здоровье населения
<i>Lovinskaya A.V., Kolumbayeva S.Zh., Suvorova M.A., Ilyasova A.I., Abilev S.K.</i>		
Toxic and mutagenic activity of the spring waters of Almaty .....		42
<i>Гумарова Л.Ж., Бикинеева Э.Р., Аблайханова Н.Т., Бактыбаева Л.К., Ыдырыс А.</i>		
Влияние естественного фона солнечной радиации в горах и искусственного освещения на циркадианные ритмы двигательной активности .....		54
<i>Бигалиев А., Бекманов Б., Шимшиков Б., Кожасметова А., Адилова Л.</i>		
Исследование генетических эффектов радиационно-загрязненных территорий на биоту .....		63
<i>Шаяхметова Ы.Ш., Борибай Э.С., Толегенова А.А., Капасова Д.А., Усубалиева С.Дж., Тыныбеков Б.М.</i>		
Оценка радиоэкологической обстановки поселка Калачи Акмолинской области .....		75
3-бөлім Биологиялық алуантүрлілікті сақтаудың өзекті мәселелері	Section 3 Actual problems of biodiversity conservation	Раздел 3 Актуальные проблемы сохранения биологического разнообразия
<i>Almezhanova M.D., Tlepov A.A., Shorayeva K.A., Burashev Ye.D., Mukhami N.N., Sultankulova K.T.</i>		
Design of primers for diagnosing lumpy skin disease of cattle by PCR .....		84
<i>Кажымуратова Ж.С., Мамышева М.В.</i>		
Краткий анализ флоры пойменных лесов среднего течения реки Урал в пределах Западно-Казахстанской области .....		91