

вый адрес: 220072, Республика Беларусь, Минск, ул. Академическая, 27; ipv@tut.by

Александр Викторович Пугачевский, зав. лабораторией проблем экологии леса и дендрохронологии Института экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь, кандидат биологических наук; тел. +375172361142; почтовый адрес: 220072, Республика Беларусь, Минск, ул. Академическая, 27; ieb_dir@biobel.by

Natallia Hryshchankava, Leading Researcher of the Laboratory of ecosystems optimization and monitoring of the V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus, PhD, Assoc. Prof.; ph. +375172721695; post address: 220072, Republic of Belarus, Minsk, Akademicheskaya, 27; nhrysh@gmail.com

Aliaksandr Sudnik, Head of the Laboratory of ecosystems optimization and monitoring of the V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus, PhD, Assoc. Prof.; ph. +375172241854; post address: 220072, Republic of Belarus, Minsk, Akademicheskaya, 27; asudnik@tut.by

Iryna Voznyachuk, Leading Researcher of the Laboratory of ecosystems optimization and monitoring of the V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus, PhD, Assoc. Prof.; ph. +375173780078; post address: 220072, Republic of Belarus, Minsk, Akademicheskaya, 27; ipv@tut.by

Aliaksandr Puhacheuski, Head of the Laboratory of forest ecology problems and dendrochronology of the V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus, PhD; ph. +375172361142; post address: 220072, Republic of Belarus, Minsk, Akademicheskaya, 27; ieb_dir@biobel.by

УДК 574.4

БИОГЕОХИМИЯ ГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМ КЫРГЫЗСТАНА

Б.М. Дженбаев¹, Б.К. Калдыбаев,² А.Джаманбаева¹, Б.Т. Жолболдиев¹,
У.Ж. Кармышева¹

¹Институт биологии Национальной академии наук, Бишкек, Кыргызстан

²Иссык-Кульский государственный университет, Каракол, Кыргызстан

КЫРГЫЗСТАНДЫН ТОО ЭКОСИСТЕМАЛАРЫНЫН БИОГЕОХИМИЯСЫ

Б.М. Дженбаев¹, Б.К. Калдыбаев,² А.Джаманбаева¹, Б.Т. Жолболдиев¹,
У.Ж. Кармышева¹

¹Улуттук илимдер академиясынын Биология институту, Бишкек, Кыргызстан

²Ысык-Көл мамлекеттик университети, Каракол, Кыргызстан

BIOGEOCHEMISTRY OF MOUNTAIN ECOSYSTEMS OF KYRGYZSTAN

В.М. Dzhenbaev¹, В.К. Kaldybaev,² Z.A.Dzhamanbaeva¹, B.T. Zholboldiev¹,
U.Zh Karmysheva¹

¹Institute of Biology, National Academy of Sciences, Bishkek, Kyrgyzstan

²Issyk-Kul State University, Karakol, Kyrgyzstan

bekmamat2002@mail.ru; baktiyar@mail.ru;

umut_kj@mail.ru; kbakyt387@gmail.com <mailto:kaldybaev.b@iksu.kg>

Аннотация. В статье представлены данные по эколого-биогеохимическим особенностям горных территорий Кыргызстана. Рассмотрены вопросы радиоэкологической безопасности отходов уранодобывающих производств бывшего СССР, аспекты биологической реакции живых организ-

мов в условиях биогеохимических провинций, проявления эндемических заболеваний животных и человека. Относительно быстрое преобразование полиметаллических биогеохимических провинций происходит в результате сокращения масштабов добычи и переработки рудного сырья. Это характерно для многих интерзональных природно-техногенных провинций, включая рудные горные территории. На основании многолетних наблюдений в данной статье отражены процессы полиметаллических биогеохимических провинций и аномалий в горных условиях Кыргызстана.

Ключевые слова: горные экосистемы, биогеохимические провинции, радиационная безопасность, эндемические заболевания

Аннотация. Макалада Кыргызстандын тоолуу аймактарынын экологиялык жана биогеохимиялык өзгөчөлүктөрү жөнүндө маалыматтар берилген. Мурдагы СССРдин уран казып алуу өнөр жайларынын калдыктарынын радиоэкологиялык коопсуздугу, биогеохимиялык провинциялардын шартында тирүү организмдердин биологиялык реакциясынын аспекти, жаныбарлардын жана адамдардын эндемикалык ооруларынын көрүнүштөрү каралат. Полиметаллдык биогеохимиялык провинциялардын салыштырмалуу тез өзгөрүшү кен сырьесун казып алуунун жана кайра иштетүүнүн масштабдарынын кыскарышынын натыйжасында ишке ашат. Бул көптөгөн зоналар аралык табигый-техногендик провинцияларга, анын ичинде рудалуу тоолуу аймактарга мүнөздүү. Көп жылдык байкоолордун негизинде бул макала Кыргызстандын тоолуу шартында полиметаллдык биогеохимиялык провинциялардын жана аномалиялардын процесстерин чагылдырат.

Негизги сөздөр: тоо экосистемалары, биогеохимиялык провинциялар, радиациялык коопсуздук, эндемикалык оорулар.

Abstract. The article presents data on the ecological and biogeochemical features of the mountainous territories of Kyrgyzstan. The issues of radio ecological safety of wastes from uranium mining industries of the former USSR, aspects of the biological reaction of living organisms in the conditions of biogeochemical provinces, manifestations of endemic diseases of animals and humans are considered. The relatively rapid transformation of polymetallic biogeochemical provinces occurs because of a reduction in the scale of mining and processing of ore raw materials. This is typical for many interzonal natural-technogenic provinces, including ore mountain areas. Based on long-term observations, this article reflects the processes of polymetallic biogeochemical provinces and anomalies in the mountainous conditions of Kyrgyzstan.

Key words: mountain ecosystems, biogeochemical provinces, radiation safety, endemic diseases

Актуальность. Известно, что одним из важных инструментов для достижений целей устойчивого развития страны является сохранение естественных экосистем. Национальной Стратегией развития Кыргызской Республики на ближайшее время предусмотрен постепенный переход страны к зеленой экономике, что будет способствовать защите населения и экологических систем от растущих природных и техногенных рисков и сбережению природных ресурсов. В этом отношении, как призвал Генеральный секретарь ООН Антониу Гутерриш (22.04.2023) «Покончить с безжалостной и бессмысленной войной с природой», что мы все жители Земли, данный призыв должны принять как девиз человечества [11, 13].

Недра горных экосистем Кыргызстана богаты различными полезными ископаемыми, по имеющимся данным, на территории республики разведано более 10 тысяч месторождений, из них около 1000 считаются перспективными для освоения [1]. Однако в ряде случаев работа горнодобывающей отрасли сопровождается образованием большого количества отходов, которые могут содержать радионуклиды, тяжелые металлы и другие токсичные вещества. Так, например, за период работы уранового производства СССР на территории Кыргызстана накопились хвостохранилища и горные отвалы, содержащие радиоактивные отходы, большинство из которых расположены в сеймо- и оползнеопасных зонах. Существует потенциальный риск загрязнения окружающей среды в случае возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера и стихийных бедствий [4, 5, 16].

Следует отметить, что в этом плане государством проводится планомерная работа по привлечению международной помощи для решения вопросов радиационной безопасности и рекультивации радиоактивных отходов. Так, например, в рамках программы «Рекультивация территорий государств ЕвразЭС, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств» проведена рекультивация Каджи-Сайского хвостохранилища, рекультивационные работы были начаты в 2017 году и завершены в 2019 году (рис. 1). Работы включали строительство защитного экрана

и восстановление ограждения вокруг площадки для предотвращения неограниченного доступа, перенос загрязненного материала хвостохранилищ во вновь построенное хвостохранилище, изменение существующего русла реки для предотвращения эрозии бортов хвостохранилищ, а также строительство двух защитных дамб [14]. Таким образом проведенные работы внесли существенный вклад в обеспечение радиационной безопасности в Иссык-Кульской области.



Рис.1. Каджи-Сайское хвостохранилище после рекультивации

В 2021-2022 гг. в Мин-Куше была проведена реабилитация: рудного склада, площадки №17 и промышленной зоны в рамках проекта «Экологический мониторинг окружающей среды и рекультивация урановых хвостохранилищ в п. Мин-Куш» (рис. 2). В текущем году началась перевозка 2-х хвостохранилищ (Талдыбулак, Туюк-Суу) на более безопасный участок на хвосте Дальний. Перенос хвостохранилища Туюк-Суу является наиболее приоритетным, поскольку оно имеет недостаточную геотехническую устойчивость, которая может иметь последствия для стабильности дамбы [15].



а) До рекультивации



б) После рекультивации

Рис.2. Площадка №21 п. Мин-Куш

По данным МЧС КР, в текущем году запланирована рекультивация 6 хвостохранилищ и 39 горных отвалов в окрестностях Майлуу-Суу за счет грантовых средств программы «Экологической реабилитации для Центральной Азии», финансируемой Европейским банком реконструкции и развития. В целях радиационной безопасности, при реабилитации хвостохранилищ и отвалов особое внимание нужно уделять радиоэкологическому мониторингу окружающей среды.

Следует отметить, что в условиях энергетического кризиса ряд стран Центрально-Азиатского региона, в том числе и Кыргызстан, пытаются решить данную проблему путем генерации дополнительных мощностей через развитие атомной энергетики. Подписаны соответствующие соглашения с Российской Госкорпорацией «Росатом» по строительству атомных электростанций.

В условиях техногенной нагрузки на биосферу актуальным является изучение аспектов биологической реакции живых организмов на геохимические условия среды, проявления эндеми-

ческих заболеваний животных и человека. Например, установлено, что в зоне техногенной Южно-Ферганской ртутно-сурьмяной провинции содержание сурьмы и ртути в организме человека намного выше, чем в биосубстратах людей с благополучных территорий [3].

Рудное поле Ак-Тюзской полиметаллической провинции характеризуется сложной структурой, в промышленных концентрациях установлено наличие Pb, Zn, Sn, Mn, и Cu. Наиболее загрязненными участками по свинцу и цинку являются районы хвостохранилищ и горных разработок (рис. 3). Почвенно-растительный покров техногенных зон отличается повышенными концентрациями свинца, цинка, стронция и фтора относительно фоновых значений [5].



а) - хвостохранилище



б) - горные разработки

Рис.3. Ак-Тюзское хвостохранилище и горные разработки

Известно, что горные территории характеризуются низким содержанием йода в объектах окружающей среды. Согласно исследованиям академика И. К. Ахунбаева, в 50-х годах йододефицитные заболевания наблюдались у более чем 50 % жителей республики. В конце 60-х и начале 70-х годов после успешного проведения профилактических мероприятий эти показатели были снижены до 10–15 %. На территории Советского Союза были созданы противозобные службы, принят ряд программ по преодолению йодной недостаточности. Однако после распада СССР, из-за недостаточного финансирования реализация данных программ была прекращена, что отразилось на здоровье населения горной республики [8, 10].

Железодефицитная анемия также является широко распространенным эндемическим заболеванием, особенно ярко она проявляется у женщин, детей и подростков; одной из причин является низкое содержание железа в воде и основных продуктах питания [3].

В последнее время особый интерес представляют биогеохимические и метаболические взаимоотношения между биоэлементами. Например, между селеном и йодом. Так, эндемический зоб и кретинизм практически невозможно профилактировать только добавками йода в рацион на фоне недостаточности селена. В этом случае дефицит селена обуславливает снижение синтеза 5-дейодиазы и коррекция йодом оказывается малоэффективной. Это явление наблюдается также при генетических нарушениях, осложняющих регуляцию синтеза фермента. Сочетание дефицита йода и селена может служить одним из главных факторов риска ряда заболеваний, в первую очередь – эндемического зоба. Однако полученные нами данные свидетельствуют о более благополучной ситуации в Кыргызстане относительно миграции в пищевых цепях селена, за исключением некоторых территорий распространения изверженных кислых пород и техногенных участков. Усилиями небольшой группы биогеохимиков в последнее время проведены важные научно-практические работы. Впервые Б. М. Дженбаевым и В. В. Ермаковым в масштабе республики проведено биогеохимическое исследование Se, Hg и F в основных природно-техногенных объектах биосферы [3, 6, 7].

Впервые проф. В. В. Ковальский по недостатку или избытку в среде обитания макро- и микроэлементов и проявлению эндемических заболеваний растений, животных и человека, провел биогеохимическое районирование СССР (СНГ) и выделил регионы биосферы (таксоны 1-го порядка), субрегионы биосферы (таксоны 2-го порядка) и биогеохимические провинции (таксоны 3-го порядка). В данном биогеохимическом районировании все горные территории были объединены в таксоны 4-го порядка. Поскольку Кыргызстан – горная страна (90% территории занимают горы), он был включен в 4-ю группу [9].

Горные регионы характеризуются определенным количественным строением биогенных циклов химических элементов. Мы проводили биогеохимическое районирование территории республики, которое является значимым для региона в целом и важно для экологических методов изучения строения биосферы. В регионах, субрегионах и биогеохимических провинциях, изученных в Кыргызстане, видно многообразие условий миграции микроэлементов, которое определяется сложностью структуры почвенного и растительного покрова горных территорий [3, 5].

Горные ландшафты вертикальных поясов имеют неодинаковую концентрацию химических элементов. Сравнение различных горных хребтов и межгорных впадин по встречаемости почв и растительных сообществ с недостаточным, нормальным или избыточным содержанием микроэлементов позволяет выявить характерные особенности каждого горного ландшафта. В пределах высокогорного Сары-Джазского природного комплекса выявлена геохимическая аномалия с повышенным содержанием Se, Cu, Pb и Mo, а также редких химических элементов. Несмотря на водную миграцию, указанные химические элементы слабо вовлекаются в биогеохимический цикл, по-видимому, в результате слабо усвояемых организмами форм. Среди луговых видов растений наблюдается выраженная биогеохимическая дифференциация флоры по степени аккумулярования микроэлементов. Высокое содержание селена в организме мальков рыбы и почках овец связано со средой обитания (водой, горными породами, углистыми сланцами – до 30 мг/кг). Слабый всплеск элемента в снежном покрове Хан-Тенгри, очевидно, обусловлен горной породой или этот элемент был занесен ветром. Биосфера обследуемой провинции представляет интерес в связи с уникальной ассоциацией редких химических элементов.

У каждого субрегиона и провинции имеются свои особенности. Особо выделяется Иссык-Кульская естественная биогеохимическая урановая провинция, которая распространена в долинной зоне котловины высокогорного озера Иссык-Куль. Эта провинция впервые в Кыргызстане была выявлена и изучена профессором В. В. Ковальским и его сотрудниками. В восточном Прииссыккулье наблюдается недостаток подвижных форм Mo и избыток Zn в почве, в западном Прииссыккулье – избыток U в почвах и растениях. По Иссык-Кульской котловине в солянково-симпегмиевых растительных сообществах и в серо-бурых почвах долинной зоны западной части котловины обнаружен: недостаток J, избыток U, повышенное содержание Fe, Mn, Cu. В Сары-Джазской высокогорной зоне обнаружен избыток олова, цинка и недостаток Cu, Mo и Se [3, 5].

Почвы и растения Нарынской впадины характеризуются недостатком Ca, P, Co, Cu и достатком, в некоторых случаях с избытком Mn, иногда относительно повышенным содержанием Sr, особенно в поймах рек, долинных зонах. Каштановые и бурые почвы некоторых районов Нарынской, Атбашинской долин обогащены Co. Пастбищные растения, каштановые, бурые почвы Ак-Сайской долины также богаты Co. В некоторых ее провинциях обнаружен недостаток Mn, в сероземах Нарынской долины – недостаток Zn, в дерново-подзолистых почвах этой долины – недостаток Co. Недостаток кобальта отмечен в почвах Толук-Торкентской горной провинции [3, 5].

Каштановые, бурые почвы и пастбищные растения некоторых ландшафтов Кеминской долины и северного макросклона Кыргызского Ала-Тоо отличаются высоким содержанием Mo (9 мг/кг сухого вещества). Сероземные, каштановые, черноземные почвы и растения некоторых горных склонов Таласского и северного макросклона Кыргызского хребта обогащены Cu. Недостаток Cu отмечен на торфяных почвах Чуйской долины.

Растения и горно-равнинные каштановые почвы мелкодерновинно-степных и лугостепных сообществ высокогорий Алайского субрегиона характеризуются низким содержанием Zn и Mo, сухостепные и пустынные почвы, пастбищные растения низкогорий отличаются нормальным содержанием Co и избытком Mo. Северо-Ферганской провинции присуще избыточное содержание Sb и As, Zn и Pb. Почвы и пастбищные растения Восточно-Ферганской провинции характеризуются недостаточным содержанием Zn, Cu и Co. В растениях и почвах Ферганско-Туркестанского региона содержание Hg повышено, в некоторых провинциях этого региона обнаружен недостаток Cu и избыток Zn.

На основе материалов наших исследований и данным литературных источников, можно констатировать, что избыток подвижного Fe, Mn, Mo, Co, Zn, Pb наблюдается во всех почвах предгорной зоны, выделенных в республике регионов, субрегионов и провинций. Избыток валового Pb, Zn, Mo и несколько пониженное содержание J, подвижного Mn отмечается во многих почвах

республики. Достаточное количество Cu и Mo обнаружено в почвах и растениях. Много этих элементов в каштановых почвах южных склонов восточной части Чаткальского хребта, северного склона Кыргызского Ала-Тоо, Кеминской долины и Западного Прииссыккуля [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом для горных регионов Кыргызстана характерен многообразный статус микроэлементов, который объясняется сложностью структуры горных пород и минералов, особенностей почвенно-растительного покрова. Например, для многих почв предгорной зоны республики можно констатировать избыток подвижных форм железа, марганца, молибдена и валовых форм кобальта, цинка, свинца, вместе с тем в ряде случаев отмечается пониженное содержание йода. По содержанию микроэлементов в почвенно-растительном покрове условно территорию Кыргызстана можно разделить на Внутренне- и Центральнo-Тянь-Шанский, Северо-Кыргызский, Южно-Кыргызский, Западно-Тянь-Шанский, Фергано-Туркестанский регионы. Для каждого региона характерны свои особенности, наличие биогеохимических провинций с недостатком и избытком микроэлементов, проявления эндемических заболеваний животных и человека.

В настоящее время в связи с усилением антропогенного пресса на биосферу большое значение имеют верхние пороговые показатели химических элементов для каждого вида. Интервалы концентраций определяются видовой и индивидуальной чувствительностью организмов к химическим элементам, состоянием регуляторных функций, адаптацией и изменением внешних условий среды в пределах региона. В этом отношении биогеохимические критерии являются более совершенной формой пороговой концентрации и охватывают интервалы концентрации микроэлементов, токсических химических элементов в укосах, пастбищных растениях и растительных кормах, ранжированные в соответствии с зонами экологического бедствия, кризиса и относительно удовлетворительного состояния.

Биогеохимия горных экосистем Кыргызстана имеет особый статус и биогеохимическое районирование. Проф. В.В. Ковальским (1974) горные районы выделены в отдельную горную биогеохимическую провинцию. Нельзя забывать, что горные экосистемы отличаются повышенной уязвимостью и чувствительностью к антропогенным воздействиям, обусловленным высокими скоростями биогеохимических процессов вещества сверху вниз и высокой опасностью природных и техногенных катастроф. Как было выше отмечено, недра горных экосистем богаты различными минеральными ресурсами, следует осторожно проводить горные разработки с учетом экологических норм и стандартов. Кроме этого, горы дают превосходные возможности для развития экологического туризма. В целом горный регион нужно рассматривать как естественный природно-территориальный и хозяйственно-экономический комплекс, который необходимо рассматривать как единый объект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айтматов И.Т. Геоэкологические проблемы в горнопромышленном комплексе Кыргызстана // Наука и новые технологии. – 1997. – № 1. – С.57-65.
2. Бакиров А. Минеральные богатства Кыргызстана // Наука и новые технологии. -- 1997. – № 4. – С.52-60.
3. Дженбаев Б.М. Биогеохимия горных экосистем Кыргызстана // Труды биогеохимической лаборатории: «Современные тенденции развития биогеохимии». – М.: ГЕОХИ РАН, 2016. – С.237-250.
4. Дженбаев Б.М., Жолболдиев Б.Т., Калдыбаев Б.К. и др. Радиоэкологическая оценка урановых хвостостохранилищ Кыргызстана // Исследование живой природы Кыргызстана. – №1-2. – 2018. – С.69-84.
5. Дженбаев Б.М., Мурсалиев А.М. Биогеохимия природных и техногенных экосистем Кыргызстана. – Б.: Илим, 2012. – 404 с.
6. Ермаков В.В. Биогеохимическое районирование континентов // Биогеохимические основы экологического нормирования. – М.: Наука, 1993. – С.5-24.