

УДК 614.8:553.94, (571.52)
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-3-16-29>

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2020

Экологические риски при разработке месторождений каменного угля в Туве

Забелин В. И. *

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, 667007, Россия, Республика Тува, г. Кызыл, ул. Интернациональная, д. 117а

Ондар С. О.,

Тувинский государственный университет, 667000, Россия, Республика Тува, г. Кызыл, ул. Ленина, д. 32

Аннотация

Рассмотрены проблемы экологических рисков и техногенных опасностей при освоении месторождений каменного угля в Туве по материалам геоэкологических исследований Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН и Тувинского госуниверситета в 2015—2019 гг. Приведены результаты анализов углей двух типичных месторождений Улуг-Хемского угольного бассейна с открытой и подземной добычей и подчеркнута опасность пылевого и шумового загрязнения близлежащих пастбищ, катастрофического загрязнения угольным шламом бассейна нерестовой реки Элегест, возникновения пожаров за счет самовозгорания углей. Возможно влияние на окружающую среду микроэлементов углей — тяжелых металлов, мышьяка, ртути и др. Высказаны рекомендации по улучшению проектирования и организации работы угледобывающих предприятий, в частности по размещению отвалов и рекультивации их поверхности, а также по обязательному использованию очистных сооружений.

Ключевые слова: каменный уголь, открытая и подземная добыча, загрязнения, техногенные опасности, экологические риски.

Для цитирования: Забелин В.И., Ондар С.О. Экологические риски при разработке месторождений каменного угля в Туве // Проблемы анализа риска. Т. 17. 2020. №3. С. 16—29, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-3-16-29>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Ecological Risks in the Coal Mining in Tuva

Vladimir I. Zabelin*,

Tuva Institute of Integrated
Development of Natural
Resources of Siberian Branch
of RAS,
667007, Russia, Republic of Tuva,
Kyzyl, Internatsionalnaya str.,
117A

Sergey O. Ondar,

Tuva State University,
667000, Russia, Republic of Tuva,
Kyzyl, Lenin str., 32

Abstract

The problems of ecological risks and technogenic hazards in the coal mining in Tuva based on the materials of geoecological research of the Tuva Institute for the Integrated Development of Natural Resources of the SB RAS and Tuva State University in 2015–2019 are considered. The results of coal analyzes of two typical coal mining of the Ulug-Khem coal basin with open and underground mining are presented, and the danger of dust and noise pollution of nearby pastures, catastrophic pollution of coal from the spawning of the Elegest spawning river, fires due to spontaneous combustion of coal are emphasized. There is possible influence of trace elements of coal — heavy metals, arsenic, mercury, etc. on the environment. Recommendations on improving the design and organization of coal mining enterprises, in particular on the placement of dumps and reclamation of their surface, as well as on the mandatory use of treatment facilities are made in the article.

Keywords: coal, open-pit and underground mining, pollution, industrial hazards, ecological risks.

For citation: Zabelin Vladimir I., Ondar Sergey O. Ecological Risks in the Coal Mining in Tuva // Issues of Risk Analysis. Vol. 17. 2020. No. 3. P. 16–29, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-3-16-29>

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Характеристика объектов и методы исследования

2. Результаты исследований

3. Экологические и техногенные риски

Заключение

Литература

Введение

Основной структурно-формационной зоной, к которой приурочены месторождения каменного угля, является Тувинский межгорный прогиб. В формировании его современного облика и территории Тувы в целом как горной страны основную роль сыграли процессы активизации глубинных разломов в мезозое и кайнозое и преобладающая тенденция к воздыманию этой территории. Прогиб выполнен преимущественно эффузивами и пестроцветными континентальными толщами девона, карбона и юры, а также третичными и четвертичными отложениями. Территориально прогиб занимает площадь 300 на 50 км. Он вытянут в восток-северо-восточном направлении, и к его осевой части приурочено около десятка обособленных площадей — мульды, выполненных отложениями карбона и юры и, частично, перми. Ложе и ближайшее обрамление прогиба сложены кембрийскими осадочно-эффузивными образованиями, ордовикскими и силурийскими

осадочными отложениями, а также палеозойскими интрузиями различного возраста и состава. С последними связаны проявления меди, золота, свинца, цинка, молибдена, урана, селена, а с наиболее молодыми позднепалеозойскими-мезозойскими интрузивными комплексами — кобальт, никель, мышьяк, серебро, ртуть, редкие земли, железо, барий, фтор и др. [1]. В процессе эрозии материнских пород многие из этих элементов мигрировали в формирующиеся осадочные толщи и угольные пласты карбона и юры, при этом некоторые из них образовали заметные по масштабам концентрации.

Среди угольных площадей наибольшей значимостью обладает расположенный в центральной части Тувинской котловины Улуг-Хемский бассейн с промышленной угленосностью юрской лимнической формации. Балансовые запасы каменных углей бассейна на 01.01.2007 определены в 3604 млн т, в т. ч. особо ценных коксующихся марок 3398 млн т, а прогнозные ресурсы по разным оценкам предполагаются в пределах 14—20 млрд т. На площади бассейна в настоящее время карьерами отрабатываются Каа-Хемское (запасы 305 млн т) и Элегестское месторождения (894 млн т), шахтным способом — Межегейское месторождение (2305 млн т). За пределами Улуг-Хемского бассейна в 200 км к западу уголь добывается открытым способом в Хемчикской котловине на Чаданском месторождении (14,5 млн т) [6]. В Туве уголь используется как бытовое энергетическое топливо без предварительной технологической переработки, а большая часть добываемого угля в последние годы вывозится автотранспортом за пределы республики в качестве сырья для получения кокса [5]. В перспективе планируются строительство в Туву железной дороги и значительное расширение добычи угля на уже разрабатываемых месторождениях, а также освоение нескольких новых объектов. Пропорционально объемам добываемого угля увеличивается и техногенная нагрузка на окружающую среду, что подтверждается нашими исследованиями, проведенными в 2015—2019 гг. на большинстве разрабатываемых месторождений.

Угольные месторождения Улуг-Хемского бассейна расположены в пределах обширной Тувинской котловины преимущественно в придолинных понижениях основных рек — Бий-Хем и Каа-Хем, дающих при слиянии начало Верхнему

Енисею (Улуг-Хему). На слиянии находится столица республики — г. Кызыл, связанный со всеми угольными месторождениями грунтовыми и асфальтированными дорогами. Рельеф дна котловины слабо всхолмленный с абсолютными отметками в 500—750 м. Сама котловина почти со всех сторон окружена горными хребтами высотой в 2—3 тыс. м. Склоны гор покрыты лесом, равнинная часть остепнена с широким развитием ксерофитных форм травянистой и кустарниковой растительности. Поймы рек залесены преимущественно лиственными деревьями и кустарниками. Климат в пределах бассейна, как и по всей Туве, резко континентальный с коротким жарким летом и продолжительной морозной зимой (с ноября по март). Температура воздуха наиболее холодного месяца (января) может опускаться до -53°C , хотя в среднем составляет $-30,6^{\circ}\text{C}$. Средняя максимальная температура июля составляет $+35^{\circ}\text{C}$ при абсолютном максимуме $+43,3^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая температура воздуха за 11 лет наблюдений поднялась с $-4,6^{\circ}\text{C}$ (1969 г.) до $+0,1^{\circ}\text{C}$ (2002 г.), глубина промерзания грунта уменьшилась с 3 до 2 м.

О повышении температуры в районе исследований свидетельствует супердлительная 3209-летняя (-1192 — 2016 гг.) древеснокольцевая хронология МонАк (рис. 1) [7].

Среднегодовое количество осадков составляет около 200 мм. Господствующее направление ветров — северо-западное. Наибольшее количество ветреных дней приходится на весенний период, для которого характерны сильные ветры (до 35 м/сек) и пыльные бури. Зимой погода обычно безветренная, а в период развития в атмосфере антициклонов (обычно в большие морозы в декабре-январе-феврале) устанавливается полный штиль и в пределах замкнутой котловины создаются условия для опасного накопления загрязняющих веществ в воздушном бассейне г. Кызыла и его окрестностей от выбросов ТЭЦ, котельных и печей частных домов [5]. Количество выпадающей за зимний период сажи катастрофическое (от 1,08 до 3,9 ПДК), по нашим подсчетам зимой 1994/95 на 1 кв. м относительно «чистой» городской территории выпало 0,267 кг сажи. Глубокая комплексная переработка каменных углей Тувы должна стать основой охраны природы, устойчивого развития республики, залогом улучшения экологических условий и укрепления здоровья населения [2, 3, 10].

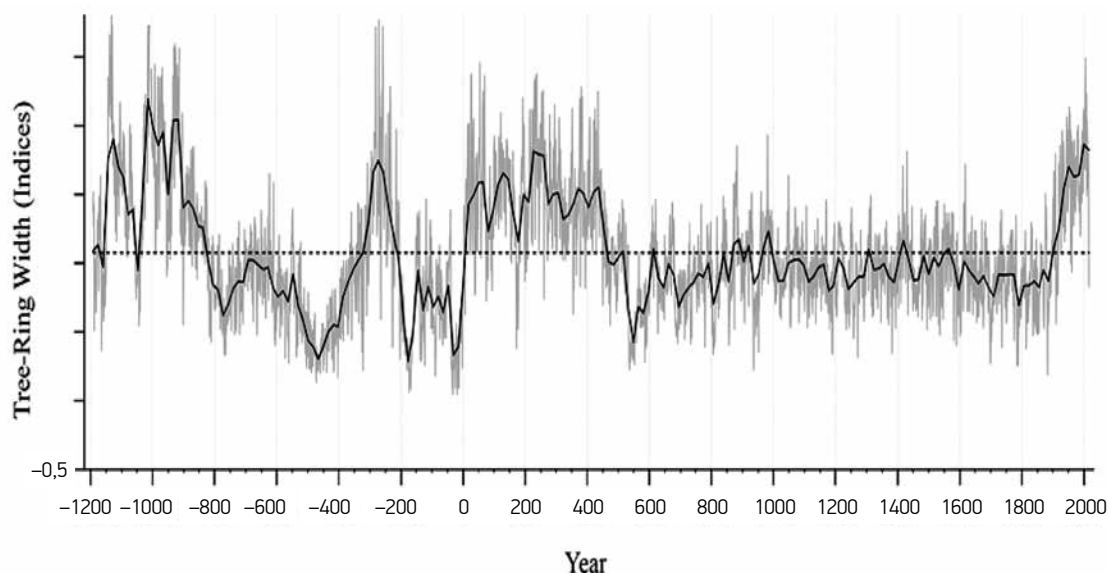


Рис. 1. Супердлительная 3209-летняя (–1192—2016) древеснокольцевая хронология МонАк (Тайник А. В., Баринов В. В., Ойдушаа О. Ч., Сидорова М. О., Мыглан В. С., 2017) (из Ондар С. О. и др., 2018)

Figure 1. Super-long 3209-year-old (–1192—2016) MonAk Tree-Ring Chronology (Taynik A. V., Barinov V. V., Oydupaa O. Ch., Sidorova M. O., Myglan V. S., 2017) (from Ondar S. O. et al., 2018)

1. Характеристика объектов и методы исследования

1.1. Характеристика объектов исследования

Рассмотрим некоторые особенности двух типичных месторождений Улуг-Хемского угольного бассейна — Каа-Хемского и Межегейского, из которых первое расположено в северо-восточной части бассейна и разрабатывается карьером, а второе — в юго-западной части, и уголь на нем добывается подземным способом. На обоих осуществлялись экологические исследования, и ниже приводятся их результаты, более подробные по Межегейскому месторождению как в наибольшей степени создающему экологические и техногенные риски.

На **Каа-Хемском месторождении** добыча каменного угля осуществляется открытым способом с 1970 г. в количестве 350—450 тыс. т в год. Рельеф поверхности месторождения представляет собой всхолмленную равнину, покрытую сухими опустыненными степями с фрагментами многолетних залежей на участках бывших зерновых полей. В 4 км к северу в западном направлении протекает р. Каа-Хем со среднемесячным стоком 410 м³/с. Действующим

разрезом глубиной 46—62 м отрабатывается угольный пласт 2.2 «Улуг» преобладающей мощностью 3—6 м. Он залегает полого с падением на юго-запад под углом 2—4°. Выше него располагается до 40 угольных пластов и пропластков общей мощностью до 22 м; при отработке основного пласта совместно с вмещающими алевролитами, аргиллитами и песчаниками они идут в отвал. Обводненность карьера незначительная. Неокисленные угли основного пласта Каа-Хемского месторождения являются коксующимися газовыми, малосернистыми, среднефосфористыми, с зольностью 8,13—17,57% и выходом летучих веществ 42—46% [6]. По составу золообразующих элементов они силикатно-железисто-кальциевые, с повышенным в сравнении с мировыми углями содержанием CaO (21%), Fe₂O₃ (31%), марганца (2544,5 г/т, что выше кларка в золах каменных углей мира в 5,9 раза), стронция (3112 г/т, 4,3), бария (2396 г/т, 2,4), сурьмы (17,9 г/т, 2,4) и близкая к кларку концентрация меди (96 г/т, 0,9), циркония (174 г/т, 0,8), хрома (84 г/т, 0,7) и титана (3066,5 г/т, 0,6). Мышьяка в углях месторождения около 7 г/т, ртути около 0,05 г/т; высокоуглефильны по отношению к мировой осадочной породе сурьма, стронций, висмут, барий; углефильны молибден, германий, медь, марганец, и умеренно углефильны цинк, свинец,

никель, бериллий, вольфрам, хром и кобальт. Сравнение составов золы угля и гранитоидов расположенного рядом с месторождением раннепалеозойского батолита показало, что источником марганца, стронция и бария, скорее всего, явилась карбонатно-сульфидная гидротермальная минерализация этого гранитоидного массива, находившаяся в области сноса в период угленакопления [11].

Горный отвод разреза занимает площадь около 15 км². Около 70% его территории приходится на отвалы, неровная поверхность которых имеет вид «лунного пейзажа»: усыпанная обломками пород, местами дымящаяся от тления угля и источающая запахи горения, она совершенно безжизненна. Лишь в северной части горного отвода на старых (20—30 лет) отвалах имеются низкорослые тополево-ильмовые редколесья. Влияние работы карьера на окружающую среду проявляется в шумовом и атмосферном загрязнении и, главным образом, в запыленности травяного покрова прилегающих пастбищных угодий. Запыленность создается за счет воздушного переноса частиц породы (в том числе обладающих высокой крепостью зерен кварца, полевых шпатов и других силикатов), образующихся при производстве массовых взрывов, а также за счет пыления в процессе погрузки и транспортировки породы. Местные скотоводы отмечают, что в процессе поедания овцами загрязненного подножного корма на удалении до 3 км от месторождения верхняя часть резцов зубного аппарата животных стирается в 2—3 раза быстрее, чем в обычных условиях, и это приводит к существенной потере продуктивности стада. Кроме того, наблюдаются случаи отказа овец от корма, беспокойство и диарея, что может быть связано с попаданием в пищевую тракт животных токсичных элементов из углей (S, As, Hg, Be, Mn, Ni, V, Cr) или обусловлено другими причинами, которые пока не нашли объяснения. Влияние разработки месторождения на фауну и флору территорий, отстоящих от действующего разреза на расстояние 3 и более км, остается в целом незначительным.

Межегейское месторождение имеет горный отвод площадью 47,8 км²; глубина залегания угля в пределах отвода от поверхностного до 450 м. Геологическое строение простое с моноклиальным залеганием угленосной толщи на север под углом 4—60°. Основным углесодержащим пластом является сравнительно выдержанный 2.2 «Улуг» мощностью 3—4 м; кроме того, имеются еще 10 сопутствующих пластов с ограничен-

ным неравномерным распределением. Вмещающие породы представлены мелкогалечными конгломератами, гравелитами, песчаниками и алевролитами. Инженерно-геологические условия разработки месторождения средней сложности. Основной угольный пласт в 2015 г. вскрыт карьером с поверхности, и его выемка осуществляется подземным способом на полную мощность с последующим обрушением кровли. Угли месторождения малозольные (7,2%), малосернистые (0,40%), малофосфористые (0,46%), представляют собой высококачественную основу шихт для производства металлургического кокса. По химическому составу золы они сходны с каа-хемскими углями и отличаются повышенным содержанием железа (Fe₂O₃ в среднем 20,59%) [5]. Поверхность месторождения представляет собой слабо всхолмленную равнину с абсолютными отметками 700—740 м, покрытую степью с господством ксерофитов и многолетними залежами. С юго-запада по всей площади отвода она ограничена широкой болотистой поймой р. Межегей, имеющей расход воды в межень 11,6 м³/с и относящейся к первой категории рыбохозяйственного значения. Абсолютные отметки русла 690—687 м, а при впадении в р. Элегест у северо-западной границы горного отвода — 679 м. Река Элегест, являющаяся левым притоком Верхнего Енисея и впадающая в него на расстоянии 30 км от месторождения, в летнее время имеет расход около 60 м³/с. Река относится к водотоку рыбохозяйственного значения высшей категории. Гидрогеологические условия месторождения сложные. Водоприток в подземные выработки составляет около 725 м³/ч. Откачка воды производится понижающими скважинами со сбросом воды на рельеф, а также непосредственно из добычных выработок на центральную площадку, где проектом предусмотрено функционирование очистных сооружений с отстойником и насосно-фильтровальной станцией со сбросом в р. Межегей очищенных шахтных стоков объемом 13 782 м³/сутки. Однако в течение четырех лет работы предприятия система очистки на проектную мощность так и не вышла [8].

1.2. Методы исследования

Отбор проб почв и растительного покрова проводился по стандартным методикам. Всего было отобрано 102 пробы почв и 117 проб поверхностных вод. Качественные химические анализы проведены в физико-химической лаборатории Центра

коллективного пользования ТувГУ рентгенофлуоресцентным методом с применением аппаратов СПЕКТ-РОСКАН МАКС. Необходимые расчеты произведены с использованием программного пакета Statistica 6.0.

Материалом для исследования изменения биологических объектов под влиянием угольных разработок послужили остромордые лягушки *Rana arvalis* Nilss, отловленные в летний период 2015—2019 гг. вблизи предприятия ООО «Межегейуголь» и в сходной по природным условиям «чистой зоне» р. Серебрянки в 5 км от г. Кызыла [7—9]. Ручным способом было отловлено 84 взрослые особи, в том числе в Межегейской долине — 62 и в окрестностях Серебрянки — 22 особи.

Для оценки стабильности развития лягушек использовали показатели флуктуирующей асимметрии по 10 признакам на левой и правой сторонах тела: число полос на бедре, голени и стопе, число пятен на бедре, голени, стопе и спине, число белых островков на внутренней стороне 2-го, 3-го и 4-го пальцев, число пор на внутренней стороне 4-го пальца. Уровень асимметрии оценивали по следующим показателям: средняя частота асимметричного проявления на признак, которая представляет собой число асимметричных признаков на особь, деленное на число проанализированных признаков [4, 7]; среднее число случаев асимметрии на 1 особь, которое получается путем деления числа случаев асимметрии в выборке на количество особей; доля асимметричных особей по всем признакам — количество асимметричных лягушек, поделенное на объем выборки, %; доля асимметричных особей по разным признакам — число случаев асимметрии по каждому из признаков, деленное на объем выборки, % [7]. Достоверность различий средних величин оценивали по критерию Стьюдента.

2. Результаты исследований

Изучением почвенно-растительного покрова окрестностей Межегейского месторождения за пять лет работы угледобывающего предприятия существенные признаки физической деградации почв не установлены. Исключение составляют увеличение объема угольной и дорожной пыли, сажи и перемещенного грунта вблизи промплощадки. Изменения в пространственном распределении флористических комплексов коснулись, главным образом, искусственных биотопов — отвалов горных пород, дорог и храни-

лища почвенно-растительного плодородного слоя, где появились вторичные сообщества, в которых абсолютными доминантами стали представители галофитной и нитрофильной флоры, а также мезофитные, мезоксерофитные и криоксерофитные сообщества. Новые флористические комплексы возникли и в зоне влияния временного русла, образованного водой, стекающей из водопонижающих скважин. Появление новых интразональных элементов со слабыми регуляторными механизмами привело к началу перестройки структурной организации популяций видов, в частности некоторых массовых видов мелких млекопитающих. В целом количественные и качественные параметры доминировавших видов наземных позвоночных изменились по сравнению с данными фоновой оценки незначительно, за исключением многократного усиления факторов беспокойства и браконьерского отстрела охотничьих животных в окрестностях месторождения. На пастбище домашнего скота угледобычные работы предприятия и появление антропогенных биотопов практически не отразились [8].

Основной экологической проблемой деятельности предприятия «Межегейуголь» является загрязнение водной среды. В процессе добычи угля подземным добывающим комплексом на промплощадку из шахты откачивается большое количество шлама с размерами взвешенных частиц угля в воде от 26 мкм и менее. В начале работы предприятия эти стоки не очищались, и концентрация угольного шлама на сбросе шахтных вод в р. Межегей в объеме около 17,5 тыс. м³/сутки в октябре 2015 г. доходила до 880—1000 мг/кг (17,5—19,9 ПДК). В результате принятых предприятием мер к концу 2017 г. концентрация снизилась до 280 мг/кг (5,6 ПДК). В 2016 г. она составила 2,8 ПДК, в 2017 г. — 1,96 ПДК, но в 2018 г. этот показатель увеличился более чем в 20 раз. Содержание микроэлементов в осадках угольного шлама невелико (в мг/кг: As 15, Pb 40, Zn 127, Cu 85, Ni 80, Hg 0,035) и за исключением меди и никеля не превышает ПДК в донных отложениях, однако с учетом огромного объема стоков можно сделать предположение о выносе в бассейн Енисея значительного количества тяжелых металлов, ртути и мышьяка.

Загрязнение угольными взвесями воды и русел рек Межегей и Элегест, формирование маслянистых пленок на поверхности воды выступили ведущим

лимитирующим фактором существования водных экосистем и их отдельных компонентов. В частности, произошло увеличение термического режима воды и донных отложений, уменьшение прозрачности и изменение цветности воды, гранулометрического состава и строения донных отложений, увеличение содержания органического вещества в составе осадков и появление в воде сероводорода. Вода в реках ниже сброса угольного шлама окрасилась в темноту цвета, а дно и низкие берега на протяжении многих километров покрылись слоем черной маслянистой грязи (табл. 1).

Причиной повышенной мутности помимо угольной взвеси являются образующиеся при контакте с воздухом нерастворимые окислы железа и других металлов. За счет того, что точка сброса подведена на приток р. Элегест — русло р. Межегей, а не на саму реку, суммарный эффект загрязнителей несколько снижен. Однако происходящая в обоих реках аккумуляция в донных отложениях угольной

пыли в виде ила многократно превышает ПДК. Показатели содержания этого параметра находятся в пределах 295—1020 ПДК при установленном нормативе 0,25 мг/кг + фоновый показатель, который в районе исследований составляет 50 мг/кг.

В результате загрязнения русел рек резко уменьшилась численность фильтраторов — моллюсков с легочным дыханием, сократилось разнообразие фито- и зоопланктона и зообентоса; увеличилась сапробность водных сообществ; возросли активность микробиологических процессов и роль гетеротрофных организмов. Основными эффектами воздействия загрязнения стали элиминация видов, неспособных адаптироваться к изменениям окружающей водной среды, и появление популяций с модифицированными фенотипом и генотипом, сопровождающееся рядом эффектов, среди которых — замедление темпов развития. Исчезновение рыбы и других водных организмов в обеих реках ниже сброса шахтных вод уже в ближайшем буду-

Таблица 1. Физико-химические параметры поверхностных вод р. Межегей

(даты отбора проб по годам: 13.04.2017 — 14.04.2018 — 29.04.2019)

Table 1. Physic-Chemical Parameters of Surface Waters of the River Mezhegey (Sampling Dates by Year: 04/13/2017 — 04/14/2018 — 04/29/2019)

Точки и годы отбора	Цветность, гр.	Мутность, гр.	Жесткость, ммоль	pH
№1а-2017 г.	3	3	3,54	4,2
№1а-2018 г.	2,8	3	3,21	7,2
№1-2019 г.	53,85	5,50	4,10	8,04
№2-2019 г.	43,077	9,433	3,709	7,88
№5-2017 г.	4,23	21,3	2,4	4,2
№5-2018 г.	46	2,5	2,42	7,01
№5-2019 г.	59,615	5,500	4,148	8,20
№5а-2017 г.	57,1	21,2	3,6	4,3
№5а-2018 г.	65	5,9	2,40	7,0
№5-1-2019 г.	65,256	21,250	3,196	7,73
№6-2017 г.	50,3	4,5	2,18	4,7
№6-2018 г.	16	0,9	1,94	7,3
№6-2019 г.	100,000	36,500	3,111	7,80
№6а-2017 г.	44,17	4,53	3,1	4,9
№6а-2018 г.	14	1,1	1,98	7,0
№6а-2019 г.	43,462	1,950	1,061	7,27
№7-2019 г.	46,154	9,300	3,465	7,91

Примечание. Точки № 1, 1а, 2, 7 — фоновые; № 5, 5а, 6, 6а — зона угледобычи.

Note. Points No. 1, 1a, 2, 7 are background; No. 5, 5a, 6, 6a — coal mining zone.

Таблица 2. Средние значения содержания химических элементов в корнеобитаемом горизонте (~50 см) почв (2018/2019 гг.), мг/кг

Table 2. Average Values of the Content of Chemical Elements in the Root Horizon (~ 50 cm) of Soils (2018/2019), mg/kg

Точки отбора	V, ppm	Cr, ppm	Mn, ppm	Co, ppm	Ni, ppm	Cu, ppm	Zn, ppm	As, ppm	Sr, ppm	Pb, ppm
1	36 ± 14/ 62 ± 6	61 ± 14/ 94,3 ± 18,8	1440 ± 300 /689	0/0	15 ± 3/ 30 ± 0,4	27 ± 5/ 44 ± 0,4	123 ± 9/ 57 ± 0,3	2,3 ± 0,6/ 8,9 ± 0,1	433 ± 25/ 827 ± 27	0/0
2	100 ± 38/ 78,8 ± 7	90 ± 20/ 83,7 ± 16	1440 ± 380/ 1165	0/0	26,5 ± 5/ 37,8 ± 0,5	36 ± 7/ 49,4 ± 0,4	54 ± 6/ 77 ± 0,3	6,5 ± 2/ 22 ± 0,3	244 ± 14/ 600 ± 19	0/0
3	109 ± 41/ 103 ± 10	90 ± 20/ 90,5 ± 18	1640 ± 430/ 1584	0/0	31,2 ± 6/ 27,8 ± 0,4	37 ± 7/ 26,9 ± 0,2	88 ± 6/ 75 ± 0,3	9,5 ± 2,5/ 33 ± 0,8	242 ± 14/ 263 ± 8,7	0/0
4	-73,5 ± 7	-75 ± 15	-927,9	0/0	-23,9 ± 0,3	-23,9 ± 0,3	-56 ± 0,5	-14 ± 0,2	-198 ± 6,5	0/0
5	102 ± 39/ 62 ± 6	85 ± 19/ 88 ± 17	1770 ± 460/ 1482	0/0	36 ± 7,8/ 36 ± 0,5	40 ± 8/ 45,8 ± 0,4	115 ± 8/ 113 ± 0,5	9 ± 2,4/ 18 ± 0,3	385 ± 22/ 720 ± 24	0/0
6	92 ± 35/ 83,7 ± 8	72 ± 16/ 90 ± 18	1400 ± 360/ 1255,8	0/0	22 ± 5/ 28 ± 0,4	30 ± 6/ 25 ± 0,3	79 ± 6/ 66 ± 0,3	17 ± 3/ 28 ± 0,4	940 ± 20/ 347 ± 11	0/0
8	73 ± 28/ 82 ± 8	61 ± 14/ 91 ± 18	1470 ± 370/ 1861,48	0/0	16 ± 3,5/ 35 ± 0,5	26 ± 6/ 55 ± 0,5	49 ± 4/ 80 ± 0,4	11 ± 3/ 38 ± 0,5	6 ± 2/ 160 ± 6	0/0
ПДК	150	6	1500	5	4	3	23	2	-	30
Кларк*	90	83	1000	18	58	47	83	0,083	-	16

* Кларк по Виноградову, 1962 (мг/кг).

Примечание. Точки отбора — 1, 2, 3, 4 — фоновые; 5, 6, 8 — зона угледобычи.

* Clark according to Vinogradov, 1962 (mg/kg).

Note. Selection points — 1, 2, 3, 4 — background; 5, 6, 8 — coal mining zone.

щем создает угрозу полной деградации водной экосистемы р. Элегест на всем ее протяжении [8].

Оценка возможного химического загрязнения почвенного покрова показала следующие результаты (табл. 2).

Разброс данных по содержанию тяжелых металлов как на техногенных, так и на фоновых территориях по отдельным элементам достаточно велик и пока не имеет направленных трендов. Возможно, такая картина связана с атмосферным переносом, особенностями микрорельефа, а также со сравнительно коротким периодом разработки месторождения.

Исследования особенностей развития растений (*Betula pendula*) и животных (*Thymallus arcticus*, *Rana arvalis*, *Lasiopodomus (Microtus) gregalis*) в зоне влияния угледобычи позволяют констатировать дестабилизацию их онтогенезов. Анализ значения признаков (флуктуирующая асимметрия, показатели экстерьерных и интерьерных признаков) у выборок, составленных вблизи технологических площадок,

свидетельствует о появлении разнообразных аномальных, устойчиво воспроизводящихся фенотипов. В результате может произойти генетическая ассимиляция таких морфозов, и территории угледобычи могут существенно повлиять на направления и темпы морфогенетической изменчивости. Ниже в качестве примера приводим значения показателей флуктуирующей асимметрии (табл. 3) остроумордой лягушки (*Rana arvalis*).

Таким образом, средняя частота асимметричного проявления особенностей окраски остроумордой лягушки на признак в зоне угледобычи выше на 26%, а среднее число случаев асимметрии на особь на 87% выше чем в обычных природных условиях. Учитывая сравнительно короткий (пятителетний) срок наблюдений, в дальнейшем следует ожидать увеличения этих показателей.

Еще одной экологической проблемой предприятия «Межегейуголь» с непредсказуемыми последствиями явится обрушение пород вскрыши,

которое последует после практически полной выемки из недр рабочего угольного пласта. При этом можно ожидать воздействия вблизи месторождения мощных сейсмических явлений, возникновения провалов пород за пределами контуров отработки, неконтролируемого затопления подземных выработок, изменения гидрологического режима ближайших водотоков и т. п.

3. Экологические и техногенные риски

Каменный уголь в естественном залегании вблизи дневной поверхности даже в условиях сухого климата Тувинской котловины легко подвергается

окислению, при этом уменьшается его механическая прочность, увеличивается трещиноватость, и в конечном итоге уголь превращается в порошок. При окислительном выветривании каменного угля в нем постепенно уменьшается содержание углерода, водорода, серы и минеральных примесей, что ведет к эмиграции большинства содержащихся в углях микроэлементов, не загрязняющих окружающую среду из-за низких концентраций. Одновременно с окислением увеличиваются влажность и зольность угля, увеличивается температура возгорания. Этими процессами, в частности, можно объяснить отсутствие в настоящее время пожаров

Таблица 3. Показатели флуктуирующей асимметрии остромордой лягушки из разных биотопов Тувинской котловины

Table 3. Indicators of Fluctuating Asymmetry of the Sharp-Faced Frog from Different Biotopes of the Tuva Basin

Признак	Районы исследований			
	Серебрянка (контроль)	№ 1а (контроль)	№ 5а (зона угледобычи)	№ 6а (зона угледобычи)
Средняя частота асимметричного проявления на признак	0,31 ± 0,01	0,33 ± 0,01	0,41 ± 0,03	0,40 ± 0,02
Среднее число случаев асимметрии на особь	1,68	2,66	4,90	4,80
Доля асимметричных особей по признакам:				
число полос на бедре	28,47 ± 2,35	28,57 ± 4,25	50,14 ± 5,71	63,64 ± 7,25
число пятен на бедре	13,23 ± 2,41	23,33 ± 2,46	65,32 ± 7,45*	40,91 ± 7,41
число полос на голени	20,77 ± 2,17	9,76 ± 2,37	53,62 ± 6,81	63,64 ± 7,25
Число пятен на голени	20,07 ± 2,43	21,06 ± 2,18	55,12 ± 6,54	77,7 ± 6,32**
Число полос на стопе	18,35 ± 2,35	18,36 ± 2,45	48,34 ± 5,91	42,8 ± 5,42
Число пятен на стопе	18,41 ± 2,26	38,57 ± 3,61	58,18 ± 7,74	72,7 ± 6,72*
Число пятен на спине	35,19 ± 2,85	46,28 ± 2,96	69,04 ± 6,45	45,45 ± 7,51
Число пятен на 2-м пальце	0,95 ± 0,67	1,35 ± 0,47	5,65 ± 2,34***	63,64 ± 7,25
Число пятен на 3-м пальце	1,01 ± 0,94*	1,28 ± 0,64*	2,38 ± 0,65	1,23 ± 0,32
Число пятен на 4-м пальце	2,61 ± 1,45*	1,98 ± 0,65	2,67 ± 1,41	2,11 ± 0,76
Доля асимметричных особей по всем признакам	79,05 ± 0,67	88,07 ± 0,47	100	100

* Достоверно больше по сравнению с Серебрянкой.

** Достоверно больше по сравнению с Серебрянкой и точкой № 1 и № 6 ($P < 0,05$).

*** Достоверно больше по сравнению с Серебрянкой и точкой № 1 ($P < 0,05$).

* Significantly more than Serebryanka.

** Significantly more in comparison with Serebryanka and point No. 1 and No. 6 ($P < 0.05$).

*** Significantly more in comparison with Serebryanka and point No. 1 ($P < 0.05$).

Примечание. * Достоверно больше по сравнению с другими районами ($P < 0,05$).

Note. * Significantly more compared to other areas ($P < 0.05$).

на естественных выходах угля на поверхность, хотя в недалеком прошлом (уже в голоцене) полностью выгорели слои угля в междуречье Улуг-Хем — Каа-Хем и в окрестностях Чаданского месторождения. По-другому происходит окисление массы добытого угля. Уже при температуре наружного воздуха $+20\text{—}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ при доступе кислорода развивается экзотермическая реакция, температура в очаге перегрева повышается до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более, а затем происходит самовозгорание угля. В подобной обстановке происходят пожары на Элегестском месторождении (Красная Горка) и на отвалах Каа-Хемского угольного разреза. На участках обводнения угольных залежей или уже добытого угля содержащиеся в нем микроэлементы мигрируют в водную среду, что наряду с массами угольного шлама создает риск возникновения и развития техногенных опасностей, в частности на бывших нерестовых реках Межегей и Элегест (рис. 2, 3). Таким образом, разработка угольных месторождений в Туве может быть в значительной степени осложнена сбросом в речную сеть запредельных по объему масс угольного шлама, образованием водных потоков рассеяния тяжелых металлов, мышьяка и ртути, а также созданием обстановки, способствующей возгоранию угля в забоях, на отвалах, складах отгрузки и т. п.

При добыче угля открытым способом за счет массовых взрывов, при работе техники и перевозке отвальных пород происходит значительное шумовое и пылевое загрязнение. По нашим данным, средние значения массы взвешенных частиц, представленных в основном мелкодисперсной угольной пылью, в трубах сброса промышленных вод превышают ПДК в **2740 раз**; в пробах на выходе из труб превышение ПДК в **61 раз**, на удалении 100 м от точки сброса — **19,6 ПДК**, в 200 м ниже — в **7,2** раза, что является основной причиной техногенного загрязнения поверхностных вод органическими веществами нетоксического происхождения.

Много пыли оседает на расположенные вблизи карьеров пастбища при перевозке добытого угля автотранспортом по грунтовым дорогам. Работа карьеров сопровождается прогрессирующим накоплением отвалов пород вскрыши на больших площадях, что сокращает территории пастбищ и существенным образом преобразует биоту коренных биотопов, вытесняя ее за пределы горных отводов (рис. 4).

Поверхность отвалов, как правило, не выравнивается и не рекультивируется (рис. 5, 6). Исключение составляют небольшие участки на Каа-Хемском и Чаданском разрезах, где развита древесная растительность.



Рис. 2. Трубы сброса промышленных вод с основной технологической площадки в р. Межегей

Figure 2. Industrial Water Discharge Pipes from the main Technological Site in the River Mezhegey



Рис. 3. Поступление промышленной воды в русло р. Межегей

Figure 3. The flow of Industrial Water Into the Riverbed Mezhegey



Рис. 4. Интразональные флористические комплексы в степи

Figure 4. Intrazonal Floristic Complexes in the Steppe



Рис. 5. Отвалы горных пород, зарастающие галофитной растительностью

Figure 5. Rock dumps Overgrown with Halophytic Vegetation



Рис. 6. Зарастающие солянкой холмовой (*Salsola collina* Pall.) отвалы плодородного слоя

Figure 6. Overgrowing hill Hodgepodge (*Salsola Collina* Pall.) dumps of the Fertile Layer

Заключение

Как показали проведенные исследования, риск загрязнения окружающей среды при освоении угольных месторождений Тувы достаточно велик, и он касается в первую очередь необходимости сохранения рек, имеющих важнейшее значение в этой сухостеп-

ной части Тувинской котловины для водоснабжения населения г. Кызыла и двух десятков поселков в его районе. Здесь находится значительная часть поливных земель Тувы и развито отгонное скотоводство. Исходя из опыта проведенных работ, дальнейшее освоение угольных месторождений на шести

планируемых площадях Улут-Хемского угольного бассейна может привести к загрязнению угольным шламом и пылью около 255 км русел малых рек (включая 30 км уже загрязненной р. Элегест) и 170 км больших рек (Улут-Хем, Каа-Хем, Бий-Хем), а также порядка 3 тыс. км² поверхности угольного бассейна. Причиной проблем, возникающих при разработке месторождений каменного угля в Туве и проявлении связанных с ней экологических рисков, является несовершенство проектных решений по современному освоению объектов и невыполнение требований к функционированию новых предприятий на принципах максимального сокращения количества отходов и их обезвреживания. В частности, для угольных разрезов с целью сокращения площади отвалов рекомендуется либо подземная отработка угольного пласта, либо поэтапное развитие карьера, при котором после вскрытия участка продуктивного пласта и его отработки производится засыпка этой части карьера породами вскрыши. Такой способ добычи угля можно рекомендовать для внедрения на Каа-Хемском и Чаданском разрезах и на проектируемых открытых угольных разработках. Важным мероприятием по сохранению окружающей среды явится рекультивация поверхности уже существующих отвалов и других нарушенных земель. Их необходимо оставлять под самовосстановление или засевать подходящими видами травяной и древесной растительности (например, лавролистным тополем). Желательно устраивать на поверхности отвалов естественно заполняемые водоемы. Формируя мозаичность и многообразие микробиотопов на рекультивированных землях, можно создать достаточно благоприятные условия для восстановления флоры и фауны даже в сухостепных районах Тувы. Для вступающих в строй предприятий с целью сохранения чистоты водоемов обязательным должно стать использование с первых дней работы очистных сооружений. До начала добычных работ должна быть полностью развита инфраструктура угольного разреза: проложены с твердым покрытием все подъездные пути, устроены постоянные водопроводы, электролинии, переходы, введены в строй предусмотренные проектом цеха, склады, хранилища бытовых отходов, подготовлены площадки для отвального хозяйства и т. п. В период работы должны быть исключены предпосылки возникновения техногенных опасностей и экологических рисков,

а по завершении работ на месторождении должен быть выполнен полный комплекс ликвидационных мероприятий, осуществляемых на принципах сохранения окружающей природной среды для ныне живущих и грядущих поколений.

Литература [References]

1. Геология Тувинской АССР. Объяснительная записка к Геологической карте Тувинской АССР м-ба 1:500000. Л.: ВСЕГЕИ, 1990. 121 с. [Geology of the Tuva Autonomous Soviet Socialist Republic. Explanatory note to the Geological map of the Tuva Autonomous Soviet Socialist Republic m-ba 1:500000. L.: VSEGEI, 1990. 121 p. (Russia).]
2. Дурнев Р.А., Пономарев А.И., Чумак С.П. Экономический механизм управления охраной окружающей среды как один из методов регулирования охраны природы // Технологии гражданской безопасности. 2009. № 3—4 (21—22). С. 72—81. [Durnev R.A., Ponomarev A.I., Chumak S.P. The economic mechanism of environmental protection management as one of the methods of environmental protection regulation // Civil Security Technologies. 2009 No. 3—4 (21—22). P. 72—81 (Russia).]
3. Забелин В.И., Кальная О.И., Доможакова Е.А., Арчимбаева Т.П., Заика В.В. Обеспечение экологической безопасности Тувы в связи с промышленным освоением ее территории. Доклад на заседании круглого стола Верховного Хурала Республики Тува на тему: Обеспечение экологической безопасности при реализации крупных инфраструктурных и инвестиционных проектов на территории Республики Тыва, 07.06.2013. Кызыл, 2013. 9 с. [Zabelin V.I., Kalnaya O.I., Domozhakova E.A., Archimbaeva T.P., Zaika V.V. Ensuring the environmental safety of Tuva in connection with the industrial development of its territory. Report at the meeting of the Round table of the Supreme Khural of the Republic of Tuva on the topic: Ensuring environmental safety during the implementation of large infrastructure and investment projects in the Republic of Tyva, 06/07/2013. Kyzyl, 2013. 9 p. (Russia).]
4. Захаров В.М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход). М.: Наука, 1987. 216 с. [Zakharov V.M. Animal Asymmetry (population-phenogenetic approach) Text. V.M. Zakharov. M.: Science, 1987. 216 p. (Russia).]
5. Куликова М.П., Балакина Г.Ф. Экологические проблемы использования углей в Республике Тыва //

- Экология и промышленность России. 2010. Декабрь. С. 37—39. [Kulikova M. P., Balakina G. F. Ecological problems of the use of coal in the Republic of Tyva // Ecology and Industry of Russia. 2010. December. P. 37—39 (Russia).]
6. Лебедев Н. И. Угли Тувы: состояние и перспективы освоения сырьевой базы. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2007. 180 с. [Lebedev N. I. Coals of Tuva: state and prospects of development of the raw material base. Kyzyl: TuVIKOPR SB RAS, 2007. 180 p. (Russia).]
7. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). М., 2003. [Methodical recommendations for the assessment of the quality of the environment for the condition of living beings (assessment of the stability of the development of living organisms by the level of asymmetry of morphological structures). M., 2003 (Russia).]
8. Ондар С. О. Отчет о научно-исследовательской работе «Мониторинг состояния окружающей природной среды на Межегейском угольном месторождении» за 2018 г. Кызыл, Тувинский госуниверситет, 2018. 122 с. [Ondar S. O. Report on the research work “Monitoring of the state of the environment at the Mezhegey coal deposit” for 2018 / Kyzyl, Tuva State University, 2018. 122 p. (Russia).]
9. Ондар С. О., Путинцев Н. И., Ойдууаа О. Ч., Чаш У.-М. Г. Основные направления динамики относительной численности мелких млекопитающих и их связь с климатом // Особенности функционирования перигляциальных экосистем / Материалы школы-семинара для молодых ученых (25—26 июня 2018 г.). Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2018. С. 34—40. [Ondar S. O., Putintsev N. I., Oidupaa O. Ch., Chash U.-M. G. The main directions of the dynamics of the relative abundance of small mammals and their relationship with the climate // Features of the functioning of periglacial ecosystems / Materials of a school-seminar for young scientists (June 25—26, 2018). Kyzyl: Publishing house of TuvSU, 2018. P. 34—40 (Russia).]
10. Пчелкин В. И., Галиуллина Р. Л. Необходимость учета особенностей природных опасностей на территории России в деятельности МЧС России и РСЧС // Технологии гражданской безопасности. 2015. №4 (46). С. 54—60. [Pchelkin V. I., Galiullina R. L. The need to take into account the peculiarities of natural hazards in Russia in the activities of the Ministry of Emergencies of Russia and the Emergency Situations // Civil Security Technologies. 2015. No. 4 (46). P. 54—60 (Russia).]
11. Тас-оол Л. Х., Янчат Н. Н. Металлоносность углей Каа-Хемского месторождения // Экосистемы Центральной Азии: исследование, сохранение, рациональное использование. Материалы XIII Убсунурского международного симпозиума. Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2016. С. 131—134. [Tas-ool L. Kh., Yanchat N. N. Coal metal content of the Kaa-Khem deposit // Ecosystems of Central Asia: research, conservation, rational use: Materials of the XIII Ubsunur International Symposium. Kyzyl: Publishing house of TuvSU, 2016. P. 131—134 (Russia).]

Сведения об авторах

Забелин Владимир Иванович: кандидат геолого-минералогических наук, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Лаборатории биоразнообразия и геоэкологии Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН

Количество публикаций: 209

Область научных интересов: геоэкология, экомониторинг, геология, палеонтология, орнитология, охрана природы

Контактная информация:

Адрес: 667007 г. Кызыл, ул. Интернациональная, д. 117а

E-mail: zabelinvi@mail.ru

Ондар Сергей Октаевич: доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий научной лабораторией «Экология» Тувинского государственного университета, главный научный сотрудник Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН

Количество публикаций: 139

Область научных интересов: биогеохимия, биомониторинг, эволюционная биология, популяционная биология

Контактная информация:

Адрес: 667000 г. Кызыл, ул. Ленина, д. 36

E-mail: ondar17@yandex.ru

Дата поступления: 21.11.2019

Дата принятия к публикации: 07.05.2020

Дата публикации: 30.06.2020

Came to edition: 21.11.2019

Date of acceptance to the publication: 07.05.2020

Date of publication: 30.06.2020