

Болота Кузнецкого Алатау как естественные фильтры природных вод

И. И. ВОЛКОВА*, К. С. БАЙКОВ, А. И. СЫСО

**Институт биологии, почвоведения, экологии, сельского и лесного хозяйства
Томского государственного университета
634050, Томск, просп. Ленина, 36*

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630099, Новосибирск, ул. Советская, 18
E-mail: Kbaikov@mail.ru*

АННОТАЦИЯ

Дана оценка экологической роли горных болот Кузнецкого Алатау и их современного экологического состояния на основании исследования гео- и гидрохимических особенностей торфяных отложений, болотных и речных вод типичной горно-болотной системы – Крестовские болота – в районе горы Чемодан, расположенной на территории заповедника “Кузнецкий Алатау”, а также летних атмосферных осадков в пределах заповедника и у его внешних границ.

Ключевые слова: торфяники, тяжелые металлы, биогеохимия торфов, экология.

По мнению экспертов Всемирного фонда дикой природы (WWF), одна из важнейших глобальных экологических проблем на Земле – возрастающий дефицит ресурсов чистых вод, пригодных для питьевого водоснабжения и возделывания сельскохозяйственных культур. Россия располагает большими природными ресурсами этих вод, однако они сокращаются как вследствие естественных причин – изменения климата, так и в результате антропогенного воздействия на окружающую среду, в том числе загрязнения ее различными поллютантами. Последние попадают в поверхностные воды из загрязненных атмосферных осадков, почв и грунтов водосборов, промышленных и бытовых стоков.

Все компоненты биосферы активно участвуют в инактивации поступающих в нее поллютантов, в том числе обеспечении приемлемой для жизни растительных и животных организмов концентрации химических элементов в природных водах. К таким компонентам биосферы относятся и горные болота, являющиеся комплексным (механическим, физико-химическим и биогеохимическим) барьером (фильтром) на пути миграции поллютантов от загрязненных техногенными выбросами горных ледников и водосборов к речным водам. В этом видится важная биосферная роль горных водно-болотных экосистем, поддерживающих гидрологические, биогеохимические и биологические связи с окружающими их экосистемами, с которыми они постоянно обмениваются веществом, энергией и информацией [1–3].

Волкова Ирина Ивановна
Байков Константин Станиславович
Сысо Александр Иванович

Проблема загрязнения питьевых вод остро стоит в Кузбассе (Кемеровской области) – одном из крупных промышленных регионов России. Значительная часть притоков р. Томи – основного поставщика вод для населения и промышленности региона, берет свое начало с ледников, снежников и из многочисленных болот западного макросклона Кузнецкого Алатау. С учетом того, что доля последних достигает 5 % от площади территории макросклона [4–6] и они расположены на основных путях стока вод, можно предполагать прохождение через болота значительного количества вод, питающих р. Томь. Таким образом, горные торфяные болота могут играть заметную роль в поддержании экологического равновесия Кузбасса. Однако гидрология и геохимия горных болот не изучена. В связи с этим исследование горных болот Кузбасса как естественного фильтра природных вод, обеспечивающего устойчивость водно-болотных экосистем к антропогенной нагрузке, в том числе к выпадению аэрозольных загрязнителей как непосредственно на поверхность горных болот, так и на территорию их водосбора, видится актуальным.

В данной публикации представлены первые результаты работ по выяснению экологической роли горных болот Кузнецкого Алатау и оценке их современного экологического состояния. Полагаем, что познание роли этих болот в формировании химического состава речных вод – источников питьевого водоснабжения населения Кемеровской и Томской областей – представляет научный и практический интерес.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Торфяные болота – одни из наиболее интересных природных образований в горах Кузнецкого Алатау – северного отрога Алтае-Саянской горной страны. Благоприятные условия для развития болот сложились на его западном макросклоне и осевых частях. Болотообразованию здесь способствуют мягкие формы рельефа и уникальные для гор континентальной Азии климатические условия, в том числе обильные атмосферные осадки – до 3000–3500 мм, а в некоторых местах до

6000 мм в год. Они определяют низкое положение снеговой линии при интенсивном таянии снежников и ледников, позволяют торфяным болотам активно развиваться как в межгорных долинах, так и на склонах и плоских вершинах гор.

Горные болота Кузнецкого Алатау обеспечивают значительный вклад в биологическое разнообразие Кузбасского региона, включающего Кузнецкую котловину и ее горное окаймление. Болота характеризуются большим разнообразием мест обитания, которое повышается с увеличением абсолютной высоты и позволяет существовать здесь не только специфичным для болот растениям и животным, но и значительному числу высокогорных и равнинных их видов. Это обуславливает разнообразие биоты и самобытность горных болот.

На горные болота Кузнецкого Алатау существенное влияние оказывает промышленность Кузбасского региона. Относительная замкнутость Кузнецкой котловины, преобладающее направление ветров со стороны промышленного узла и относительно небольшое расстояние (200–250 км) до гор Кузнецкого Алатау, являющихся механическим барьером для влаги и пыли, переносимых воздушными потоками, определяет загрязнение гор аэрозольными промышленными выбросами. Вследствие этого тающие летом снежники на вершинах гор покрыты слоем техногенной грязи, а в лесном поясе повсеместно наблюдается поражение вершин хвойных деревьев (суховершинность).

Исследовали торфяные отложения, болотные и речные воды типичной горно-болотной системы – Крестовские болота – в районе горы Чемодан (рис. 1), расположенной на территории заповедника “Кузнецкий Алатау”, а также летние атмосферные осадки в пределах заповедника и у его внешних границ. Система Крестовских болот общей площадью около 1000 га включает 5 индивидуальных болотных массивов, располагающихся в замкнутом водосборе верховьев р. Крестовки – правого притока р. Средняя Терсь. Водосбор Крестовских болот находится на высоте 850–900 м над ур. м. и имеет общий уклон 3–5° на юго-запад, откуда по долине р. Крестовки поступают влагоносные воздуш-

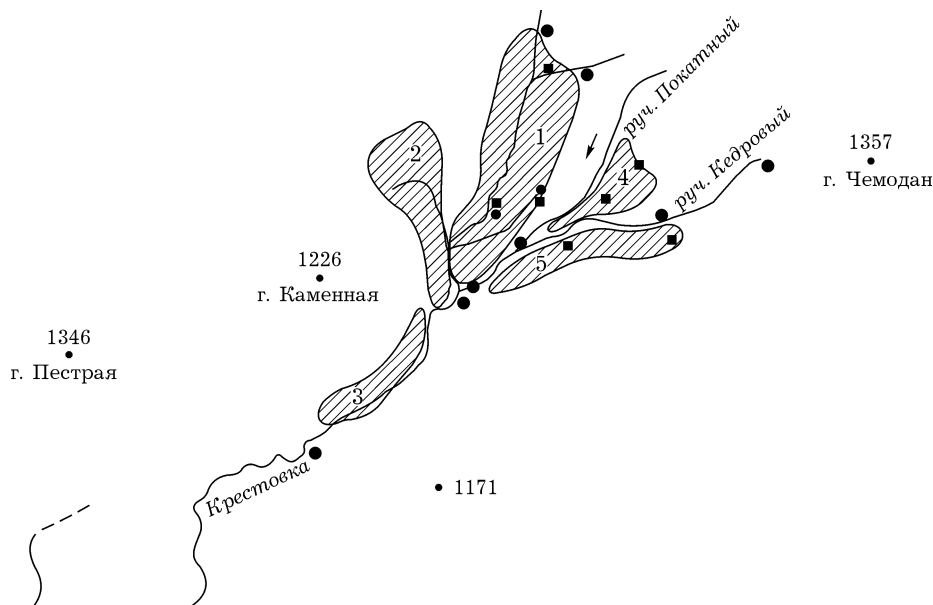


Рис. 1. Схема Крестовских болот: 1 — Крестовское; 2 — Дальне-Крестовское; 3 — Подкаменное; 4 — Домашнее; 5 — Стационарное. • — места отбора проб воды; ■ — места отбора торфяных образцов

ные массы, несущие и техногенные поллютанты из промышленного центра Кузбасса.

Мощность торфяных отложений в генетических центрах болот достигает 3 м, в среднем 1,5–2 м. Угол уклона поверхности минерального дна отражается в уклоне поверхностей болотных массивов. Поэтому они имеют явно выраженные водотоки (как поверхностные, так и внутризалежные) разной ширины и глубины, по которым осуществляется сброс вод, особенно активный в период весеннего снеготаяния. Основную площадь Крестовского болота (см. 1 на рис. 1), центрального в горно-болотной системе, занимают грядово-озерково-мочажинные комплексы. Гряды заняты кустарничково-сфагновыми сообществами, в мочажинах господствуют различные виды осок (*Carex* spp.), шейхцерия (*Scheuchzeria palustris*), пухонос (*Trichophorum caespitosum*), мхи. Верхняя часть Крестовского массива у основания склонов занята березовым криволесьем в сочетании с шульциево-осоково-моховыми сообществами. Дальне-Крестовское болото (см. 2 на рис. 1) занято березовым криволесьем с участками грядово-мочажинных комплексов в юго-восточной части массива. Подкаменное болото (см. 3 на рис. 1) у основания горы Каменной покрыто ерниковыми, ерnikово-осоковыми и осоково-сфагновыми сообществами, разделя-

емыми пихтово-кедровыми кустарничково-моховыми лентами вдоль водотоков. Домашнее болото (см. 4 на рис. 1), залегающее на междуречном клине, образованном ручьями Кедровым и Покатным, занято комплексом березового криволесья с алтайскоосоково-чмерицевым травостоем вокруг стволов и алтайскоосоково-шульциево-сфагновых и топяноосоково-пухоносово-сфагновых сообществ между группами берез. Стационарное болото (см. 5 на рис. 1) покрыто березовым криволесьем в комплексе с осоково-сфагновыми открытыми сообществами.

С целью сравнительного анализа гео- и гидрохимических характеристик горных болот проведено исследование на высокогорном нагорнотеррасно-склоновом травяно-осоково-печеночниково-зеленомошном болоте (Ленкино болото) на подветренном северо-восточном склоне отрога г. Чемодан на высоте 1160–1180 м над ур. м. Болото может рассматриваться в качестве фонового участка, так как в силу особой геоморфологической приуроченности не пропускает через себя загрязненных поллютантами вод. Площадь болота составляет около 8 га, мощность торфа в первичной депрессии верхней части массива равна 80 см, в остальной части не превышает 25–30 см.

Отбор образцов торфа для анализа его физико-химических свойств, химического и

ботанического состава проводили по методике Ю. А. Львова [7]. На трех массивах Крестовской болотной системы из семи скважин, а на высокогорном Ленкином болоте из двух скважин пробы отбирались по всей глубине торфяной залежи послойно. Скважины бурили в верхней и нижней (по склону) частях болотных массивов для сравнительного анализа содержания и миграционных особенностей химических веществ в пределах торфяных залежей. Всего отобран 61 образец, при этом из верхней современной части залежи до глубины 20–30 см отбирали образцы чаще из слоев меньшей толщины для идентификации слоя, соответствующего началу массового промышленного загрязнения.

Образцы торфа методом квартования делили на две средние пробы: одну для ботанического анализа и выявления пылевых частиц микроскопическим методом, а другую для определения валового содержания поллютантов.

Фракционный состав нерастворенных частиц и содержание тяжелых металлов определяли в воздушно-сухих пробах торфа. Измерение концентрации в торфе Cd, Zn, Pb, Cu проводилось инверсионно-вольтамперометрическим методом, ртути – методом ААС (холодного пара), мышьяка – атомно-абсорбционным методом после озоления проб.

Отбор проб вод рек и ручьев проводили на их входе и выходе из болотных массивов, а также в разных элементах болотного комплекса (озерки, мочажины, болотные водотоки). Для сравнения состава этих вод с составом атмосферных осадков брали пробы талой воды снежников, залегающих на близлежащих к болотам горных склонах западной экспозиции на высоте 1000–1100 м над ур. м., и усредненные пробы июньских жидких осадков, выпавших: а) в субальпийском поясе на вершине горы (1200 м над ур. м.) вблизи Крестовских болот, б) в лесном поясе гор на окраине Крестовских болот и в) на горном склоне западной экспозиции вблизи г. Белогорска у границы заповедника “Кузнецкий Алатау” (880 м над ур. м.).

В полевых условиях в пробах вод измеряли рН, электропроводность и температуру. Каждую пробу разделяли на две части, одну из них консервировали серной, а другую азотной кислотой. В первой колоримет-

рическим методом на автоанализаторе (ААС) определяли NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- и PO_4^{3-} , а во второй методом ИСП измеряли концентрацию Al, Ca, Cd, Cu, Fe, Mg, K, Mn, Na, Pb, Si, S и Zn.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ ботанического состава образцов торфа показал, что торфяные залежи большинства из исследуемых болотных массивов сложены осоковым, гораздо реже сфагново (*Sphagnum fallax*)-осоковым торфом преимущественно из осоки алтайской. Это говорит о сложении толщи болот преимущественно низинным, реже переходным типами торфяных отложений.

Обнаружено, что почти всегда торфяные отложения в той или иной степени загрязнены минеральными включениями, попадающими на болота с поверхностными водами, либо оседающими из атмосферы.

Анализ торфа выявил в нем индикаторы техногенного загрязнения природной среды – частицы угольной пыли, а также тяжелые металлы, особенно ртуть и свинец, накопившиеся в верхних слоях торфяных залежей (рис. 2).

Уровень концентрации тяжелых металлов и мышьяка в торфе изученных болот оценивался относительно их содержания в низинных болотах лесной зоны европейской части России и Западно-Сибирской равнины из-за недостатка данных о количестве этих элементов в торфе горных болот.

Ртуть показала явную тенденцию техногенного накопления в верхних (но не поверхностных) слоях залежей. Максимальное ее содержание (более 40 мг/кг) обнаружено в слое 4–8 см торфа, сложенном осокой топяной (*Carex limosa*) в верхней по склону части массива Ленкиного болота (см. скв. № 7, рис. 2). Здесь концентрация ртути в 2 раза выше, чем в скважине № 8 в нижней части болота, где торфяные отложения представлены преимущественно пушицевым торфом. На Домашнем болоте высокое содержание Hg отмечено на глубине 13–15 см в осоковом торфе (осока алтайская). В целом изученный торф Крестовских болот отличается очень высоким содержанием ртути, в несколько раз превышающим ее максимальную (2,3 мг/кг)

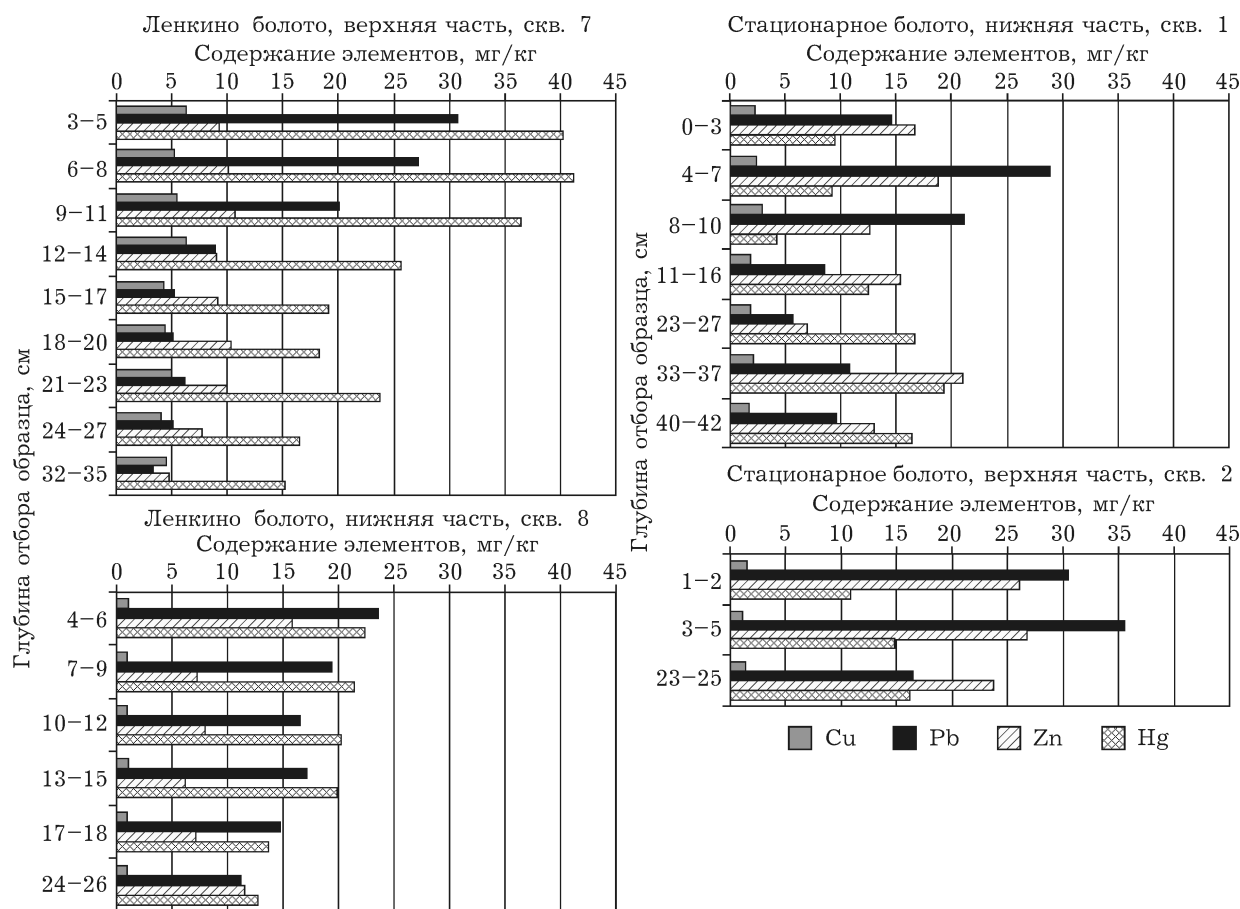


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в торфах болот Кузнецкого Алатау

концентрацию в низинных болотах юго-востока Западной Сибири [8].

Причин обнаруженной чрезвычайно высокой концентрации ртути в торфе изученных болот несколько. Первая видится в распространенности в Кузнецком Алатау ртутных аномалий, из которых продукты разрушения насыщенных ртутью горных пород способны поступать в болота и обогащать торфяные залежи этим элементом. Вторая – в способности торфа и содержащихся в нем гуминовых кислот, полуторных оксидов поглощать ртуть в большом количестве и образовывать с нею геохимически малоподвижные соединения. Третьей и основной причиной аккумуляции ртути в торфяных отложениях, особенно в их верхних слоях, мы считаем техногенное загрязнение ртутью атмосферы Кузнецкого Алатау при сжигании угля, добыче и производстве цветных металлов. С техногенезом связывают и особенности распределения ртути в торфяниках Большого Ва-

сюганского болота, где максимумы концентрации элемента в торфе хорошо совпали с периодами увеличения общемирового производства и потребления ртути [9].

Распределение свинца в изученных торфяниках аналогично ртути. В их профиле максимум его содержания (35,5 мг/кг) отмечен на глубине 3–5 см скважины № 2 в верхней части Стационарного болота (см. рис. 2). В нижней части этого болота (скв. № 1) на той же глубине свинца в торфе в 1,5–2 раза меньше. Такое же профильное и пространственное распределение свинца характерно и для других болот Кузнецкого Алатау. О техногенном загрязнении их свинцом говорит высокое среднее содержание его в торфе – 17,8 мг/кг, что гораздо выше, чем в низинных болотах лесной зоны Европейской России – 2,3 мг/кг [10, 11] и юго-востока Западной Сибири – 4,9 мг/кг [8], но близко его среднему содержанию (19,8 мг/кг) в болотных почвах тайги Западной Сибири

[12], однако в составе последних велика доля почв, обогащенных минеральными веществами.

Содержание цинка в торфе изученных болот варьирует от 4,8 до 33,6 мг/кг, не проявляя ни четкой приуроченности максимумов его к верхним слоям торфяных залежей, ни тенденции к накоплению в торфе верхних по склону участков болот. Возможно, это обусловлено более слабой фиксацией цинка торфом по сравнению с другими металлами [6]. Среднее содержание цинка в торфе Крестовских болот составляет 14,4 мг/кг, что близко к его концентрации в торфе низинных болот равнин европейской части России и юго-востока Западной Сибири [8].

Распределение меди, не обладающей большой способностью к атмосферному переносу [13], оказалось почти равномерным по профилям всех торфяных залежей. Среднее содержание меди в торфе Крестовских болот около 3,5 мг/кг, что в 2 раза ниже, чем в торфе низинных торфяников Западно-Сибирской и Восточно-Европейской равнин. Близкое к ним содержание меди (6,3 мг/кг в верхней и средней части залежи) обнаружено в Ленкином болоте (см. рис. 2). Пространственное распределение концентрации меди по участкам массива повторяет общую тенденцию по другим металлам: на верхнем крае болота (скв. № 7) в среднем по скважине 5,1 мг/кг против среднего значения 1,0 мг/кг для скважины № 8 в нижней по склону части массива. Такое пространственное изменение концентрации меди и других тяжелых металлов в торфе исследуемых болот является следствием выполнения ими роли природного фильтра и геохимического барьера для металлов в поверхностных и грунтовых водах, мигрирующих через болота. Эту связь между торфом и водами подтверждают результаты анализа последних, приведенные ниже.

Содержание кадмия в торфе изученного болотного массива в целом невысокое, его концентрация выше 0,01 мг/кг встречается только в 21 % образцов. Такое количество кадмия отмечено в скважинах в восточной части Крестовской болотной системы, в двух на Домашнем болоте и одной в нижней части Стационарного болота, расположенного на пологом склоне северо-восточной экспозиции.

Распределение кадмия по профилю торфяных залежей неравномерное. Явное обогащение им торфа наблюдается на глубине 3–7 см от поверхности всех трех скважин, торф выше и ниже этого слоя содержит меньше кадмия. Максимальное содержание Cd (0,26 мг/кг) в слое 3–7 см отмечено на Стационарном болоте в нижней по склону части, что указывает на явное загрязнение здесь торфа. Однако и это количество кадмия в торфе лишь незначительно превышает его среднее содержание 0,17 мг/кг в болотных почвах юго-востока Западной Сибири [12].

В исследованных болотах не выявлено признаков загрязнения мышьяком, его количество не превышает 0,01 мг/кг сухого вещества торфа, в то время как в болотах юга Западной Сибири его минимальная концентрация составляет 3 мг/кг [12].

Анализ состава и свойств речных и болотных вод Кузнецкого Алатау показал, что по изученным показателям они близки аналогичным водам фоновых территорий лесной зоны юга Западной Сибири [3, 12, 14, 15].

Реакция среды вод горных болот слабокислая и в среднем составляет 5,2 единиц pH при разбросе от 4,5 до 6,0. Такая реакция среды может быть обусловлена продуктами разложения органических веществ и поступлением в воды фульвокислот и других органических кислот, в целом же она характерна для вод переходных и низинных болот юга Западной Сибири. Слабокислая реакция среды вод определяет условия развития растительности, ее олигомезотрофный (переходный) характер.

Средняя кислотность вод ручьев и реки, дренирующих Крестовскую болотную систему, несколько выше и равна 5,9. При этом оказалось, что pH вод на входах (верховья ручьев Кедрового, Покатного, р. Крестовки и ее малого притока) и на выходе из болотной системы (р. Крестовка после впадения ручья Кедрового) различается минимально. Мы полагаем, что это обусловлено двумя причинами: 1) измерением pH в период завершающегося весенне-летнего половодья, когда собственно болотные воды сильно разбавлены снеговыми, видимо, еще преобладавшими в поверхностном стоке; 2) поступлением в болотную систему вод, уже прошедших через торфопокровные водосборные

бассейны и приобретших реакцию среды, характерную для болотных вод.

Роль болот в изменении реакции среды протекающих через них вод в результате поглощения щелочно-земельных элементов болотной растительностью и торфом, выделения ими кислых органических кислот хорошо проявилась в водах ручья Кедрового. В его верхнем течении рН вод составила 6,1, а в месте впадения ручья в р. Крестовку после прохождения вдоль болотной системы – 5,8. Еще более существенное понижение кислотности произошло на одном из внутриболотных водотоков, где рН вод снизилась с 5,9 до 4,6 от верхней к нижней части водотока соответственно. Схожая картина наблюдается и в болотных озерках верхней и нижней по склону частях Крестовского болота, в которых отмечено уменьшение рН вод от 5,7 до 5,0.

Анализ электрической проводимости вод болот, водотоков, талой воды снежников и жидких осадков, отражающей их минерализацию, не выявил существенных различий. В среднем изученные воды пресные, о чем свидетельствуют низкие значения электропроводности – 27 мкС/см. Высокие ее значения зарегистрированы в двух пробах: 90 мкС/см – в дождевой воде, собранной на склоне горы у г. Белогорска; 120 мкС/см – в истоке одного из внутриболотных водотоков, выходящего из глубины торфяной залежи. Последние данные говорят о повышенной относительной минерализации этих вод, вероятно, связанной в первом случае с загрязнением атмосферы горнодобывающей промышленностью, а во втором – с поступлением в водоток грунтовой воды из слоев минеральной породы. Тем не менее оба показателя укладываются в пределы вариации электропроводности природных вод: удельная электропроводность речной воды в среднем варьирует от 30 до 1500 мкСм/см, а воды атмосферных осадков – 20–120 мкСм/см [16].

По содержанию в водах серы сульфатов не обнаружено больших различий в пробах, взятых с выше- и нижележащих участков водотоков, равно как и в пробах, отобранных по элементам болотного комплекса. Максимальная концентрация серы выявлена в воде жидких атмосферных осадков, выпадающих на вершине Ленкиной горы вблизи Крестов-

ских болот – 2,052 мг/л (для SO_4^{2-} – 6,147 мг/л). Относительно высокое содержание серы в осадках мы связываем с техногенным загрязнением атмосферы Кузнецкого Алатау.

Вероятно, по этой же причине наибольшие концентрации ионов NH_4^+ и PO_4^{3-} (4,888 и 2,333 мг/л соответственно) обнаружены в осадках, выпадающих в окрестностях г. Белогорска, расположенного не более чем в 5 км от карьеров Кия-Шалтырского нефелинового рудника, а NO_3^- – на Крестовских болотах (1,921 мг/л). Хлорид-ион в максимальном количестве найден в талой воде с верхней части снежника (1,25 мг/л).

Оценка содержания серы, фосфора и азота показала среднюю их концентрацию в талой воде снежника, а наименьшую – в реке, ручьях и болотах, при этом в воде внутриболотных озерков количество этих элементов оказалось ниже, чем в мочажинах и водотоках.

Хорошо известная способность торфяных болот поглощать из поступающих в них вод ионы и соединения химических элементов ярко проявилась в отношении кальция. Его содержание в водах, движущихся от истока к среднему течению р. Крестовки, снизилось от 18,71 до 2,29 мг/л, а в водах небольшого внутриболотного водотока – от 14,03 до 0,53 мг/л.

Сходное с кальцием распределение имеют концентрации тяжелых металлов в водах внутриболотных водотоков, ручьев и реки. В верхних частях водотоков (до прохождения ими через систему болот) содержание марганца в 1,5–10 раз выше, чем в нижних частях. Так, в истоке р. Крестовки на входе в болотную систему количество Mn составило 0,047, а в среднем течении реки после выхода из болот снизилось до 0,010 мг/л. Аналогично менялись концентрации в водах цинка (соответственно 0,018 и 0,004 мг/л) и кадмия (0,003 и 0,001 мг/л). Причем эти концентрации оказались ниже, чем в воде атмосферных осадков, где обнаружено максимальное содержание Zn – 0,037 и Cd – 0,004 мг/л, последнее выше предельно допустимой концентрации (ПДК) кадмия в питьевых водах, равной 0,001 мг/л.

Вероятно, из-за сильного поглощения компонентами торфа и болотной растительностью концентрация меди и свинца в болотных

и речных водах оказалась ниже предела их определения даже методом ИСР. Поэтому медь в концентрации 0,001 мг/л обнаружена только в одной пробе из 25, хотя в осадках, собранных на соседней с болотами Ленкиной горке, ее содержание составляло 0,018 мг/л. Свинец также обнаружен в одной пробе – в талой воде снежника – 0,039 мг/л, что выше ПДК свинца в питьевых водах – 0,01 мг/л.

Повышенное содержание тяжелых металлов в атмосферных осадках и водах снежников, вероятно, связано с высоким содержанием их водорастворимой формы в техногенных пылеватых частицах и аэрозолях. Эти элементы могут конденсироваться на поверхностях мелких пылевых частиц с высоким отношением площади поверхности к массе, что предполагает их высокую способность к миграции в составе аэрозольных выбросов [15, 17].

В снеговых водах также проявилась тенденция пространственного изменения концентрации элементов: она оказалась выше в водах верхней части снежника, чем в нижней. Однако объяснить данный факт мы пока не можем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленные особенности пространственного и профильного изменения изученных показателей состава торфа в целом типичны для болот, формирующихся в геохимически подчиненных ландшафтах на наклонных поверхностях, и являются результатом действия на болотах комплекса разных классов природных геохимических барьеров, оказывающих влияние на миграцию элементов, находящихся в различных их формах.

Первый такой барьер – механический, на котором задерживаются выпадающие из атмосферы пылеватые частицы и аэрозоли, но прежде всего взвешенные в водах природные и техногенные минеральные, органоминеральные и органические частицы, а также гидрозолы и коллоиды, обогащенные сорбированными ими химическими элементами. Наиболее заметна работа этого барьера по периферии (периметру) болот, где воды поверхностного стока сталкиваются с рыхлым торфом и болотной растительностью, обеспе-

чивающими фильтрацию вод, задержку и осаждение твердых частиц. Кроме того, еще одним фильтрующим компонентом болот служит их микрорельеф, относящийся к микрогеохимическим барьерам, образуемый чередованием гряд, мочажин и озерков и представляющий собой своеобразную систему очистки вод поверхностного стока. Поэтому количество и размер названных частиц постепенно уменьшаются от периферии к центру болота, а на наклонных поверхностях – от верхнего к нижнему краю болотного массива.

Вторым барьером, основным для водорастворимых веществ, прежде всего ионов элементов, а также гидрозолей, поступающих с водами на болота, служит физико-химический, представленный на болотах его сорбционными, глеевым и кислородным подклассами.

На сорбционном геохимическом барьере ионы элементов из поверхностных и грунтовых вод, атмосферных осадков, попадающих на болота, обменно и необменно поглощаются гуминовыми веществами, тонкодисперсными частицами и полуторными оксидами, содержащимися в торфе и болотных водах [18]. Характер распределения химических элементов в торфяных отложениях во многом повторяет вышеописанный – максимальные их концентрации отмечаются в торфе верхней по уклону части массива и в верхних слоях торфяных отложений.

Глеевый и кислородный (окислительный) геохимические барьеры, формирование которых обусловлено в первом случае попаданием в восстановительную обстановку потока кислородных или глеевых вод, а во втором – поступлением бескислородных глеевых вод в зону со свободным кислородом, оказывают существенное влияние на миграцию химических элементов, валентность и подвижность которых резко меняются при смене окислительно-восстановительной обстановки.

Обводненной толще болот присуща восстановительная обстановка среды; попадая в нее, элементы, подвижные в кислородных поверхностных водах, в частности медь и мышьяк, осаждаются на глеевом геохимическом барьере, который формируется по краям болот, а в водах, вертикально сверху вниз мигрирующих в торфяной залежи болота, – в ее толще на границе распространения бес-

кислородных глеевых вод. Граница смены окислительно-восстановительных условий в разных болотах может располагаться на различной глубине, что объясняет нахождение максимумов концентрации элементов, осаждаемых на глеевом барьере, в разных слоях изученных болот.

Сказанное касается и элементов, осаждаемых на кислородном геохимическом барьере, прежде всего железа и марганца, а также элементов, активно сорбируемых их гидроксидами (Cd, Cu, Hg, Pb, Zn).

Особое воздействие на химический состав вод, проходящих через болота, оказывает их растительность, служащая биогеохимическим барьером на пути миграции многих химических элементов, но прежде всего биофильных – N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, которые она активно избирательно поглощает, в результате чего воды обедняются ими. Поглощенные болотными растениями элементы при их отмирании послойно аккумулируются в торфе и частично выносятся из него водами. Таким образом, живая растительность также является важным компонентом, обуславливающим фильтрующие и сорбционные свойства болот.

Полученные результаты изучения состава и свойств болотных, речных вод и атмосферных осадков на территории Кузнецкого Алатау показали, что последние загрязнены промышленными выбросами и имеют повышенное содержание некоторых макро- и микроэлементов.

Исследования подтвердили общеизвестную роль торфяных болот как мощного комплексного сорбента многих химических элементов, в том числе тяжелых металлов, многократно снижающего их содержание в проходящих через болота водах. При этом они полностью очищают от избыточного количества свинца воды атмосферных осадков, концентрация более геохимически подвижного кадмия в них остается все же высокой.

Таким образом, торфяные болота гор Кузнецкого Алатау, являясь природными фильтрами, резервуарами и источниками чистой воды, играют значительную роль в поддержании экологического равновесия Кузбасского региона. В болотах задерживается не только денудационный материал, сносимый с их

водосборов – вышележащих уровней гор, но и принесенные на них ветром поллютанты техногенных выбросов предприятий Кузбасского промышленного узла.

Представленные сведения о водоочищающих свойствах горных болот имеют большое значение для планирования мероприятий по повышению экологической устойчивости природного комплекса Кузбасского региона и бассейна р. Томи в условиях их сильного техногенного аэрозольного загрязнения. Результаты исследования позволяют обосновать меры по охране горных болот и определяют необходимость их сохранения даже вне существующих охраняемых природных территорий.

Авторы выражают глубокую признательность доктору географии Владимиру Блейтену, любезно предложившему безвозмездно провести анализы проб воды в руководимой им лаборатории физической географии Университета г. Утрехт (Нидерланды).

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-04-90708 – моб_ст, 08-04-92496 НЦНИЛ_а, 08-04-92501 НЦНИЛ_а), интеграционных проектов СО РАН № 66, 77, программы Президиума СО РАН “Биологическое разнообразие”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пьявченко Н. И. Болотообразовательный процесс в лесной зоне / Значение болот в биосфере. М.: Наука, 1980. С. 7–16.
2. Лисс О. Л., Березина Н. А. О взаимодействии болот и окружающей среды (на примере центральной части Западно-Сибирской равнины) // Значение болот в биосфере. М.: Наука, 1980. С. 95–112.
3. Бахнов В. К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 193 с.
4. Волкова И. И. Горные болота заповедника “Кузнецкий Алатау”: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск: ТГУ, 2001. 20 с.
5. Волкова И. И. Экологические функции горных болот Кузбасса // Вестник Томского гос. ун-та. Томск, 2002. Прил. 2. С. 101–108.
6. Volkova I. I. Peatlands as an important link in South Siberian mountain ecosystems // Wise Use of Peatlands: Proceedings of the 12th International Peat Congress. Tampere, Finland, 6–11 June 2004. P. 945–951.
7. Львов Ю. А. Методика отбора и обработки торфа для выделения мелкодисперсной минеральной фракции // Вопросы метеоритики. Томск: Изд-во ТГУ, 1976. С. 90–93.

8. Инишева Л. И., Цыбукова Т. Н. Эколого-геохимическая оценка торфов юго-востока Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. 1999. № 1. С. 45–52.
9. Головацкий Ю. А., Антипов А. Б. Глубинные профили концентрации ртути в торфах Васюганского болота / Четвертое совещание по климатологическому мониторингу. Томск, 2001. С. 58–59.
10. Добровольский В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983.
11. Добровольский В. В. Основы биогеохимии. М.: Высш. шк., 1998.
12. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1996. 246 с.
13. Reimann C., Banks D., P. de Caritat. Impacts of airborne contamination on regional soil and water quality: the Kola Peninsula, Russia // Environmental Science and Technology. 2000. Vol. 34, N 13. P. 2727–2732.
14. Инишева Л. И., Строителев А. Д., Инишев Н. Г. Геохимические особенности вод верховых болот // Рудные месторождения. Минералогия. Геохимия. Томск, 2000. Вып. II. С. 132–138.
15. Bleuten W. Hydrogeochemistry // Carbon storage and atmospheric exchange by West Siberian peatlands. FGUU Scientific Reports. Utrecht, 2001. P. 38–42.
16. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. А. Д. Семенова. Л.: Гидрометеиздат, 1977.
17. Тяжелые металлы в окружающей среде. Пушино, 1996.
18. Сапрыкин Ф. Я. Геохимия почв и охрана природы. Л.: Недра, 1984.

Mires of the Kuznetsk Alatau as Natural Filters of Natural Water

I. I. VOLKOVA*, A. I. SYSO, K. S. BAIKOV

**Institute of Biology, Soil Science, Ecology, Agriculture and Forestry of the Tomsk State University
634050, Tomsk, Lenin ave., 36*

*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS
630099, Novosibirsk, Sovetskaya str., 18
E-mail: Kbaikov@mail.ru*

The paper describes the results of the work aimed at elucidation of the ecological role of mountain mires in the Kuznetsk Alatau and evaluation of their modern ecological state on the basis of the investigation of geo- and hydrochemical features of peat deposits, mire and river water of the typical mountain mire system – Krestovskie Bolota – near the Chemodan mountain situated at the territory of the Kuznetskiy Alatau reserve, as well as summer atmospheric precipitation within the borders of the reserve and near its outer boundaries.

Key words: peat swamps, heavy metals, peat biogeochemistry, ecology.