

УДК 631.811.944.631.445.12

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЕОХИМИЧЕСКИ СОПРЯЖЁННЫХ БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТАХ ТАЁЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Архипов Виктор Сергеевич,

vsa@tpu.ru

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Цель исследования. В таёжной зоне Западной Сибири получили распространение геохимически сопряжённые болотные ландшафты, связанные миграционными потоками поверхностных и почвенно-грунтовых вод. Целью данной работы является изучение распределения группы элементов в торфяной залежи двух геохимически сопряжённых болот, занимающих водораздел и террасу в пределах общего междуречья.

Актуальность. Данные о распределении элементов в геохимически сопряжённых залежах болот позволяют связать условия торфонакопления (рельеф, состав осадочных пород междуречья, растительный покров, водно-минеральный режим) с миграцией минеральных соединений в болотных ландшафтах междуречья. Полученная информация актуальна в экологических приложениях. Она может быть использована для оценки залежи низинного террасного болота как геохимического барьера в защите речных вод от техногенных загрязнений.

Методы исследования. Работа включала отбор проб торфа на двух геохимически сопряжённых торфяных болотах (Чистое и Клюквенное) и анализ проб на содержание золообразующих элементов и микроэлементов. На каждом болоте отобрано по пять технологических проб, в которых методом инструментального нейтронно-активационного анализа определено содержание Ca, Fe, Co, La, Sc, Ce, Th, Vg. Кроме того, определено содержание Mn объёмным методом с фотоколориметрическим окончанием.

Результаты. Установлено, что содержание золы в торфе болота Клюквенное в 3,8 раз выше, чем в торфе болота Чистое. Вклад разных элементов в минерализацию торфяной залежи болота Клюквенное существенно различен. Наибольший прирост (в 8–10 раз) выявлен у Fe и Mn. Средние показатели прироста (в 4,5–5 раз) отмечены у Sc, Co. Минимальные значения прироста (в 2–3 раза) отмечены у Ca, Ce, Th, La, Vg.

Выводы. Минерализация торфяной залежи болота Клюквенное связана с выносом железа, марганца и других элементов в процессе заболачивания склона междуречья и их последующей аккумуляцией в залежи болота Клюквенное.

Ключевые слова:

Торф, залежь, геохимия, сопряжение, миграция.

Введение

Заболачивание Западно-Сибирской равнины наиболее активно развивалось на территории Томской области и прилегающих районов Новосибирской, Тюменской, Омской областей и Красноярского края. Здесь сформировались крупные болотные массивы и сложные болотные системы площадью в десятки тысяч гектар. В настоящее время они оказывают определяющее влияние на ландшафтно-геохимические процессы, протекающие в таёжной зоне. Наиболее важное влияние оказывает накопление огромных масс воды, насыщающей торфяные болота.

По данным Государственного гидрологического института [1–3], количество воды, накопленное в торфяных залежах сибирских болот, расположенных южнее Сибирских увалов, составляет около 1000 мм на единице заболоченной площади, что значительно превышает годовой сток рек в этих районах, составляющий 100–300 мм/год [2].

В результате обводнения территории таёжной зоны и подъёма уровня грунтовых вод водораздельные плато основных рек Обского бассейна (Васюган, Парабель, Чая, Тым, Кеть, Чулым) в настоящее время заняты крупными торфяными массивами олиготрофного типа. Заполнив водораздельное плато, торфяная залежь распространяется на склоны водоразделов, отчего значительно возрастает интенсивность заболачивания территории.

В последние 3–4 тысячи лет развивается площадное (аллохтонное) разрастание болотных массивов, их слияние и образование гигантских болотных систем, в которых мелкозалежные зоны слияния занимают около 30 % общей площади болотной системы. В южной тайге слияние болот продолжается и в настоящее время за счёт заболачивания окружающих лесов [2, 4, 5].

Относительно свободный сток олиготрофной болотной влаги определяет широкое развитие на периферии болотной системы верховых залежей, например, древесно-сфагнового типа («рослого яма»). Ширина периферийной полосы болот с древесно-сфагновыми сообществами на многих участках крупных болотных систем достигает 1–3 км а ширина заболоченных лесов – 10 км и более [4].

Процессы заболачивания сопровождаются развитием водной миграции элементов в геохимически сопряжённых болотных ландшафтах. Сопровождающие ландшафтно-геохимические процессы формируют распределение элементов в условиях заболоченной территории. В этих условиях получили распространение каскадные ландшафтно-геохимические системы (КЛГС), локализованные в границах междуречья. Водораздельная часть междуречья обычно занята верховым сфагновым болотом, имеющим атмосферное питание. Соответственно, верховое водораздельное болото является автономным звеном в КЛГС междуречья. По скло-

нам водораздела располагаются заболоченные в разной степени леса. Полоса заболоченных лесов играет роль транзитного звена в КЛГС, в них протекает латеральная миграция водных потоков с водораздельного болота; одновременно в почвогрунтах формируются почвенно-грунтовые воды вследствие выщелачивания подстилающих пород и образования подвижных форм элементов. Далее поверхностно-сточные и почвенно-грунтовые воды поступают в речную долину, где питают низинные болота террас и поймы. Низинные болота речных долин являются, таким образом, аккумулятивным звеном в КЛГС междуречья, образуя геохимический барьер на путях миграции грунтовых вод [6, 7]. Ранее были выявлены особенности распределения железа, кальция, марганца по глубине торфяных залежей водораздельного и долинного залегания в ландшафтах таёжной зоны [8, 9]. Целью данной работы является оценка влияния геохимического сопряжения болотных массивов на распределение химических элементов в торфяных залежах этих болот.

Методика и объекты исследования

Для исследования выбраны два торфяных болота: болотный массив Чистое № 923 и болотный массив Клюквенное № 932 [10]. Оба болотных массива расположены в междуречье рек Томь (при слиянии с рекой Обь) и Б. Юкса (рисунок). Болотный массив Чистое (юго-западный участок детальной разведки 1987 г.) входит в группу верховых сфагновых болот (Брагино № 913, Рыжиково № 914, Корсаково № 915), расположенных в водораздельной части междуречья. Болотный массив занимает древнюю ложбину стока, врезанную в водораздельный склон междуречья.

Болотный массив Клюквенное занимает восточную часть сложной болотной системы на правобережной террасе реки Томь. Оба болота гидравлически связаны единой водосборной площадью реки Шишкобойка и ручья, вытекающего из южной окраины болотного массива Чистое (рисунок). Таким образом, оба болота образуют КЛГС, в которой автономным звеном является болотный массив Чистое, а подчинённым (аккумулятивным) – болотный массив Клюквенное.

Болотный массив Чистое питается атмосферными осадками, вследствие чего сформировалось верховое сфагновое болото с присущим ему строением залежи. Общая площадь болотного массива равна 2576 га. Средняя глубина залежи – 3,53 м. Средние показатели общетехнических свойств торфа: степень разложения $R=16\%$, зольность $A^d=3,0\%$ [11]. Поскольку болото перешло в олиготрофную стадию развития, на нём преобладает олиготрофная растительность, в основном фукусум-фитоценозы. В строении болотного массива преобладают верховые залежи, составляя 79 % общего объёма. Наиболее распространёнными видами торфяных залежей являются фукусум (35 %), шейх-цериево-сфагновая (9 %), магелланикум

(7 %) и комплексная (8 %). Из залежей переходного типа преобладает топяная (16 %), 3 % приходится на низинную осоковую [11]. Центральная часть болота Чистое выпуклая. Превышение отметок поверхности центра и окраин достигает 9 м. Уклон поверхности центральной части болота направлен на юго-запад по водосбору р. Шишкобойка. Дно болотного массива неровное, изобилует западинами, буграми и гривами. В подстилающем грунте преобладают песчаные разности с высокой степенью промытости и слабой минерализацией болотных вод.

В силу своего подчинённого положения в системе сопряжённых болот междуречья болотный массив Клюквенное получал более богатое минеральное питание, вследствие чего сформировалось низинное болото, сложенное преимущественно нормальнозольными торфами средней зольности $A^d=10\%$ при средней степени разложения $R=27\%$. Общая площадь болотного массива составляет 4800 га. В структуре болота преобладает топяно-лесная (47,8 %) и осоковая залежь (21,6 %), слагающая в основном центральную часть болота. Кроме того, значительный объём занимает древесно-осоковая (12,6 %) и многослойная лесо-топяная (16,24 %) залежь, занимающие периферию болота [12]. Рельеф поверхности болота ровный с общим уклоном с северо-востока на юго-запад в сторону реки Томь. Грунты, подстилающие залежь, сложены лёгкими и тяжёлыми суглинками, часто пылеватыми. Дно болота неровное, имеются многочисленные западины, гривки, бугры. Средняя глубина залежи 3,26 м.

На каждом болоте отобрано 5 технологических проб торфа массой по 40 кг при естественной влажности. Пробы представляют наиболее распространённые на данном болоте виды торфа. Каждая проба включала 3–4 образца, отобранные в отдельных пунктах на площади болота. Пункты отбора выбирали по материалам геологической разведки, как правило, на участках с наиболее мощными слоями торфа. Пробы отбирали ручным торфяным буром из середины генетического слоя торфа.

Для изучения распределения элементов в сопряжённых болотах выбрана группа элементов (Fe, Mn, Ca, Co, La, Sc, Ce, Th, Br), отличающихся по своим миграционным свойствам. Fe, Mn, Co энергично мигрируют в глеевых условиях, образуя соединения с переменной валентностью элементов [6, 7]. К активным мигрантам относят также Ca, Th, Br, которые отличаются по формам миграции. Ca переносится в виде бикарбоната $Ca(HCO_3)_2$. Th мигрирует в составе органических комплексов, а Br переходит в раствор при биохимическом разложении болотных растений. Малоподвижны в болотных ландшафтах Sc, La, Ce, слабо мигрирующие в составе органических комплексов [13]. Немаловажна также надёжность результатов анализа данных элементов.

Содержание Fe, Ca и ряда микроэлементов (Co, La, Sc, Ce, Th, Br) определяли с помощью инстру-

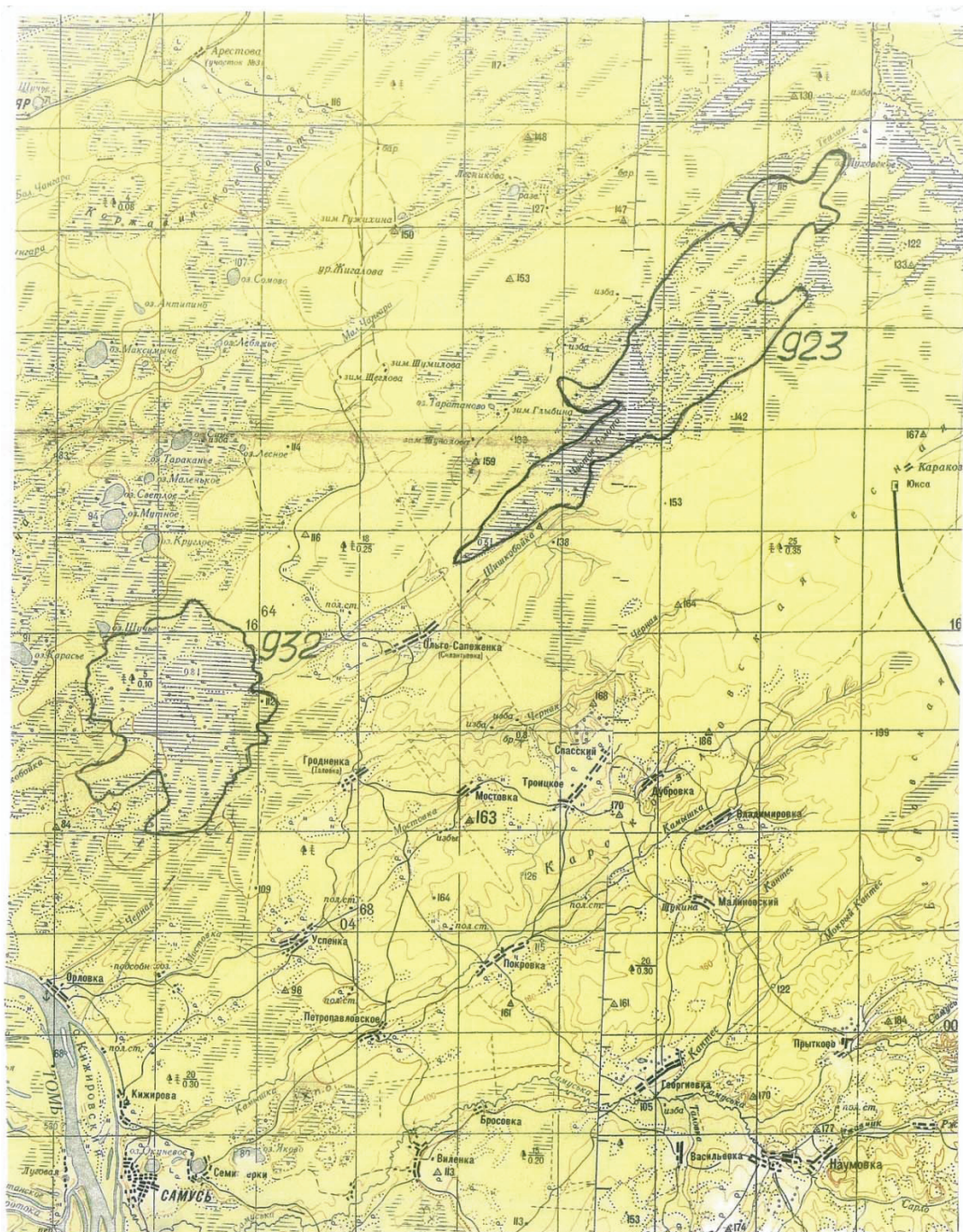


Рисунок. Расположение геохимически сопряжённых болот Чистое № 923 и Клюквенное № 932 в междуречье рек Томь–Б. Юсса (М 1:200000)

Figure. Location of geochemically conjugated bogs Chistoe no. 923 and Klyukvennoe no. 932 in the interfluvium of the rivers Tom–B. Yussa (M 1:200000)

ментального нейтронно-активационного анализа на аппаратуре Института ядерной физики (НИИЯФ) при Томском политехническом университете [14]. Содержание Mn в торфе определяли путём окисления ионов Mn в азотнокислом растворе персульфатом аммония в присутствии нитрата серебра. Концентрацию перманганат-ионов в растворе определяли с помощью фотоколориметра КФК-2МП [9]. Зольность образцов торфа A^d определяли по ГОСТ

11306–83. Степень разложения R находили глазным (микроскопическим) методом [15].

Обсуждение результатов

В изученной болотной КЛГС современное распределение элементов сформировалось вследствие совместного протекания двух ландшафтно-геохимических процессов: торфонакопления и водной миграции растворённых веществ от водо-

раздельного торфяного болота Чистое к террасному торфяному болоту Клюквенное.

Сложившийся к настоящему времени состав торфа обоих болот представлен в табл. 1, 2. Из этих данных видно, что уровень накопления неорганических элементов в торфяной залежи массива Клюквенное существенно выше, чем в залежи массива Чистое. Содержание золы возросло от 1,7...4,4 % в залежи верхового болота до 7,2...21,4 % в залежи низинного болота. Для количественной оценки аккумуляции золообразующих и рассеянных элементов залежь болота Клюквенное воспользуемся понятием минерализации K , которое выражается соотношением $K = C_k / C_{ch}$, где C_k и C_{ch} – среднее содержание элементов в торфе болота Клюквенное и Чистое, мг/кг сухого торфа. В среднем минерализация $K = C_k / C_{ch}$ составила величину 3,8 (табл. 3).

Таблица 1. Состав торфа болота Чистое (автономное звено КЛГС)

Table 1. Peat structure of marsh Chistoe (autonomous link of cascade landscape-geochemical systems KLGs)

Тип, вид торфа (шифр пробы) Type, peat species (Code of the sample)	В. фукусум R. fuscum (923-1)	В. магелланикум R. magellanicum (923-2)	В. комплексный R. complex (923-3)	В. комплексный R. complex (923-4)	П. шейхериевый Т. shekherievii T. (923-5)
Зольность Ash content A^d , %	1,7	4,2	2,6	3,4	4,4
Степень разложения Degree of decomposition R, %	5	15	15	10	35
Элементы Elements	Содержание элементов, мг/кг сухого торфа Content of elements, mg/kg of dry peat				
Fe	1089	1890	946	1494	1683
Ca	1845	2704	2703	3327	–
Mn	50	121	45	44	56
Co	0,39	1,18	0,41	0,80	1,58
La	1,14	3,77	1,37	2,78	4,19
Sc	0,25	0,47	0,25	0,44	0,88
Ce	2,19	5,64	1,82	3,41	6,90
Th	0,21	0,54	0,09	0,32	0,92
Br	8,2	13,6	10,5	12,5	18,0

Примечание: – содержание Ca на уровне чувствительности метода НАА (около 500 мг/кг сухого торфа). В., П. – верховой, переходный тип торфа.

Note: – Ca content is at the sensitivity level of the NAA method (about 500 mg/kg of dry peat). R, T – riding, transition peat type.

Как видно из табл. 3, минерализация залежи торфа болота Клюквенное существенно различна по разным элементам. Наиболее высокими значениями минерализации отличается марганец ($K=9,9$), железо ($K=7,5$), скандий ($K=4,5$) и кобальт ($K=5,0$). Минерализация по кальцию близка к минерализации по золе $K=3,6$. Ещё ниже $K=2-3$ по La, Ce, Br, Th. Несовпадение значений минерализации по разным элементам может быть связано как с процессами формирования почвенно-грунтовых вод в рыхлых отложениях междуречья,

так и с последующей их миграцией и поглощением элементов в торфяной залежи болота Клюквенное. В настоящее время эти процессы рассматриваются [16] как этапы единого сложного процесса заболачивания склонов междуречья. При этом подчёркивается важная роль условий обводнения склона и состав почвообразующих пород.

Таблица 2. Состав торфа болота Клюквенное (аккумулятивное звено КЛГС)

Table 2. Peat structure of bog Klyukvennoe (accumulative link of cascade landscape-geochemical systems)

Тип, вид торфа (шифр пробы) Type, peat species (Code of the sample)	Н. травяной N. herbal (932-1)	Н. древесно-травяной N. arboreal (932-2)	Н. древесный N. woody (932-3)	Н. травяной N. herbal (932-4)	Н. древесно-травяной N. arboreal (932-5)
Зольность Ash content A^d , %	7,2	9,2	9,3	14,3	21,4
Степень разложения Degree of decomposition R, %	25	30	35	35	35
Элементы Elements	Содержание элементов, мг/кг сухого торфа Content of elements, mg / kg dry peat				
Fe	10830	9340	9030	10324	13070
Ca	3880	8520	7230	11070	9500
Mn	515	598	609	535	855
Co	5,4	4,7	3,0	3,0	5,7
La	2,27	6,33	5,66	2,97	6,88
Sc	0,55	1,10	1,05	3,04	4,57
Ce	3,35	7,12	5,61	7,15	15,84
Th	0,42	0,83	0,51	1,65	2,69
Br	24,1	22,2	20,4	27,8	24,0

Примечание: Н. – низинный тип торфа.

Note: N. is the low – moor peat.

Таблица 3. Среднее содержание химических элементов в сопряжённых торфяных залежах, расположенных на разных уровнях рельефа в междуречье рек Томь–Б. Юкса

Table 3. Average content of chemical elements in conjugated peat deposits located at different levels of relief in the interfluvium of the rivers Tom–B. Yuxsa

Элементы и зольность торфа Elements and ash content of peat	Среднее содержание в торфе мг/кг сухого торфа Average content in peat mg/kg of dry peat		Минерализация залежи болота Клюквенное Mineralization of the swamp Klyukvennoe deposit, Ck/Cch
	Чистое Chistoe, Cch	Клюквенное Klyukvennoe, Ck	
Fe	1420	10519	7,5
Ca	2216	8040	3,6
Mn	63,2	622,4	9,9
Co	0,87	4,36	5,0
La	2,65	4,82	1,8
Sc	0,46	2,06	4,5
Ce	3,99	7,81	2,0
Th	0,42	1,22	2,9
Br	12,6	23,7	1,9
Зольность, г/кг Ash content, g/kg	32,6	122,8	3,8

В миграции химических элементов в пределах изучаемой КЛГС ключевую роль играет высокое содержание органического вещества (ОВ) в природных водах, дренирующих территорию междуречья. В ходе торфообразования возникает особый тип природных вод с низкой минерализацией, но с высоким содержанием ОВ и повышенной кислотностью. Такой тип болотных вод формируется в автономном звене КЛГС – болотном массиве Чистое водораздельного залегания. По данным полевых работ 1989 г. [17], общая минерализация болотной воды в верхних слоях залежи составила $46,5 \text{ мг/дм}^3$, величина $\text{pH}=4,4$, содержание $\text{Fe} (+2)=0,1...0,5 \text{ мг/дм}^3$, $\text{Fe} (+3)=0,3...1,0 \text{ мг/дм}^3$. Близкие значения для олиготрофных болот таёжной зоны Томской области приводит О.Г. Савичев [18] и С.Л. Шварцев [19]. Среди компонентов такого типа вод преобладают ОВ, значительная часть которых представлена фульвокислотами, концентрация которых в среднем равна $76,4 \text{ мг/дм}^3$ [20]. Кислотная природа ОВ болотных вод обуславливает их агрессивность. В экспериментах В.В. Пономарёвой [7] агрессивное действие фульвокислот не только на первичные, но и на вторичные минералы (монтмориллонит, каолинит) превосходило действие соляной кислоты. При разложении фульвокислотами минералов горных пород, почв образуются органоминеральные соединения с комплексной структурой. В природных водах таёжной зоны широко распространены комплексные и внутрикомплексные гетерополярные соли (хелаты), в которых металл входит в состав анионной части молекулы и не способен к обменным реакциям. В такой форме мигрирует подавляющая масса малоподвижных элементов в заболоченных ландшафтах таёжной зоны [18–20].

Поток ультрапресных кислых болотных вод с верхового болота Чистое поступает в транзитное звено КЛГС, расположенное на склоне в долину реки Томь. Здесь располагается полоса заболоченного леса шириной 5–6 км и протяжённостью с юга на север около 10 км. Сток болотных вод обеспечивается перепадом высот между поверхностью юго-западной окраины болота Чистое и восточной окраины болота Ключевенное (рисунок). По отметкам абсолютных высот этот перепад составляет около 20 м. Основная часть болотной воды болота Чистое поступает латеральным стоком в рыхлые осадочные отложения заболоченного склона через водосборную площадь реки Шишкбойка и ручья, вытекающего из южной окраины болота Чистое. Отложения склона имеют неоднородную структуру, в которой чередуются слои пайдугинской и федосовской свиты с фрагментами кочковской свиты [21]. Заболачиванию склона способствует агрессивный характер латеральных болотных вод. В процессе заболачивания формируются почвенно-грунтовые воды, которые поступают в водоносные горизонты грунтовой толщи склона и далее разгружаются у подножия террас. Выходы таких вод неоднократно отмечены Н.С. Евсеевой [21] при

полевых работах в бассейнах правых притоков р. Томь (р. Шишкбойка, Чёрная, Камышка и др.). Состав вод обусловлен ландшафтно-геохимическими процессами, сопровождающими заболачивание склона [16]. Ведущую роль в этих процессах играет оподзоливание и оглеение, которые приводят к мобилизации железа в форме органоминеральных и абсорбционных комплексов. Активное участие в мобилизации железа, марганца, алюминия принимают почвенные микроорганизмы, которые стимулируют образование подвижных форм элементов [22, 23]. Почвенно-грунтовые воды, образовавшиеся в процессе миграции через звено КЛГС, характеризуются повышенной минерализацией, вследствие выщелачивания рыхлых отложений склона междуречья. Эти воды составляют основную долю водно-минерального питания торфяной залежи болота Ключевенное. Сведения о современном составе таких вод приводятся в работах [2, 18]: минерализация $200...300 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH}=5,7...6,2$, содержание железа общего $8,3 \text{ мг/дм}^3$. Визуально проявление железистости болотной воды наблюдалось нами при отборе проб торфа на болоте Ключевенное. В зоне пересечения торфяного массива рекой Шишкбойка (юго-западный участок болота) выделялись обводнённые участки залежи со слабым течением «ржавой» воды в направлении общего стока с болота.

Железистость природных вод на заболоченных территориях таёжной зоны отмечалась в ряде работ [7, 18]. В связи с этим высказывалось мнение о роли органического вещества торфа в образовании железистых вод [7, 24]. Полученные нами результаты по минерализации торфяного болота Ключевенное (табл. 3) также подтверждают это мнение. Для данных природных условий (рельеф, состав подстилающих пород, гидротермический режим) минерализацию залежи железом можно количественно оценить как 7–8-кратную. Это значение близко к соотношению концентрации общего железа в болотной воде верхового сфагнового (1 мг/дм^3) и низинного долинного ($8,3 \text{ мг/дм}^3$) болот таёжной зоны Западной Сибири. Ещё более высокое значение минерализации залежи (10-кратное) обнаружено у марганца, что может быть связано с большим разнообразием его соединений по сравнению с железом [25, 26].

По современным представлениям источником микроэлементов в торфяных залежах низинных болот террасного залегания являются почвенно-грунтовые воды, питающие такие залежи. По нашим данным (табл. 3) минерализация торфяной залежи болота Ключевенное непостоянна по разным микроэлементам и изменяется от 2 (Ce, La) до 5 (Co, Sc). Предположительно, источником этих элементов могут быть минералы почв и рыхлых отложений склона междуречья, главным образом глинистые осадки [13].

Наиболее вероятно совместное выщелачивание микроэлементов с железом, алюминием, кальцием, марганцем, кремнием [7] в процессах оподзо-

ливания и оглеения почвенных и подпочвенных минералов. Обычно в таких минералах микроэлементы присутствуют в качестве микропримесей, замещая основные элементы (Fe, Al, Ca, Si) в кристаллической решётке минералов [13, 27]. Бром относится к элементам-биофилам [7]. В таёжных ландшафтах его распространение связано с жизнедеятельностью растений. По-видимому, поглощённый растительностью верхового болота бром частично остаётся в залежи, а частично поступает с почвенно-грунтовыми водами в залежь террасного болотного массива, обеспечивая повышенное содержание брома.

Заключение

Изучено распределение 9 элементов в торфяной залежи двух геохимически сопряжённых болот, расположенных в междуречье рек Томь–Б. Юкса. Болотный массив Чистое расположен на водоразделе и является автономным звеном сопряжённой системы. Подчинённым звеном является болотный массив Клюквенное, залегающий на террасе р. Томь. По данным технического анализа среднее значение зольности торфа болота Клюквенное в

3,8 раза превышает аналогичный показатель для торфа болота Чистое. Установлено, что содержание элементов в этих залежах изменилось по-разному. В наибольшей степени (в 8–10 раз) увеличилось содержание Fe и Mn. В меньшей степени (в 4–5 раз) возросло содержание Sc и Co. По остальным элементам (Ca, La, Ce, Th, Br) отмечен минимальный прирост в 2–3 раза. Из полученных данных следует, что основным источником минерализации торфяной залежи болота «Клюквенное» являются почвенно-грунтовые воды, сформировавшиеся в процессе заболачивания склона междуречья. Геохимически сопряжённые болота распространены в междуречьях таёжной зоны Западной Сибири. Среди КЛГС южной тайги можно отметить сопряжённые болота водоразделов и террас: Кайтас № 901 – Гусевское № 902; Валудково № 897 – Чангарское № 896; Сазанье № 523 – Карасёвое № 524; Полудёновское № 679 – Широкое № 678. Эти КЛГС отличаются по своему генезису, рельефу и составу подстилающих пород. Их изучение позволит связать распределение химических элементов в торфяных залежах с условиями геохимической миграции в пределах междуречий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эволюция почв и почвенного покрова / отв. ред. В.Н. Кудряков, И.В. Иванов. – М.: ГЕОС, 2015. – 925 с.
2. Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири / под ред. М.И. Нейштадта. – М.: Наука, 1977. – 227 с.
3. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / под ред. К.Е. Иванова, С.М. Новикова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 227 с.
4. Дюкарев А.Г., Львов Ю.А., Хмелёв В.А. Природные ресурсы Томской области. – Новосибирск: Наука, 1991. – 176 с.
5. Лапшина Е.Д., Мульдьяров Е.Я. Основные этапы развития Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2002. – С. 36–44.
6. A spatially explicit model of iron loading to takes / R. Maranger, Ch.D. Canham, M.L. Pace, M.G. Papaik // *Limnologia. Oceanographija*. – 2006. – V. 51. – № 1. – P. 247–256.
7. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
8. Архипов В.С., Бернатонис В.К. Распределение кальция и железа в вертикальном профиле торфяных залежей таёжной зоны Западной Сибири // *Известия Томского политехнического университета*. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 173–178.
9. Архипов В.С., Бернатонис В.К. Распределение марганца в торфяных залежах Томской области // *Известия Томского политехнического университета*. – 2015. – Т. 326. – № 7. – С. 27–35.
10. Торфяные месторождения Томской области / под ред. Я.Н. Задунайского, И.Н. Казакова, В.Д. Маркова, А.С. Проворкина, А.А. Синадского. – М.: Геолторфразведка, 1971. – 306 с.
11. Битуминозные торфа Томской области / В.С. Архипов, Ю.И. Прейс, В.К. Бернатонис, С.Г. Маслов, Н.А. Антропова. – Томск: STT, 2008. – 240 с.
12. Отчёт о НИР «Разработать и выдать рекомендации по рациональному использованию в XII и XIII пятилетках торфяных месторождений центральной части Западной Сибири». Ч. 2. № ГР01840085449. – Томск: Изд-во Томского политехнического института.
13. Wedepohl R.H. Environmental influences on the chemical composition of shales and clays // *Physical Chemistry Earth*. – 1971. – V. 8. – P. 310–338.
14. Arkhipov V.S., Bernatonis V.K., Rezchikov V.J. Distribution of Iron Compounds in Peat Deposits of the Central Part of Western Siberia // *Eurasian Soil Sci.* – 1995. – V. 27. – № 7. – P. 65–76.
15. Тарасов С.И., Кузнецова Л.М. Стандартизация торфа, торфопродукции сельскохозяйственного назначения // *Болота и биосфера: Материалы IX школы молодых учёных*. – Владимир: Пресс СТО, 2015. – С. 135–143.
16. Schwertmann U. Solubility and dissolution of iron oxides // *Plant Soil*. – 1991. – V. 130. – P. 1–25.
17. Отчёт о НИР «Изучение микроэлементного состава торфов и сиропелей Сибири с целью рационального использования их в сельском хозяйстве и физиотерапии». Ч. 1. № ГР01890058930. – Томск: Изд-во Томского политехнического института, 1990. – 106 с.
18. Савичев О.Г. Геохимические показатели болотных вод в таёжной зоне Западной Сибири // *Известия РАН. Серия географическая*. – 2015. – № 4. – С. 47–57.
19. Геохимия природных вод района Большого Васюганского болота / С.Л. Шварцев, Н.М. Рассказов, Т.Н. Сидоренко, М.А. Здвижков // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2002. – С. 139–149.
20. Гидрогеохимические условия формирования олиготрофных болотных экосистем / О.Г. Савичев, А.К. Мазуров, И.П. Семилетов, В.А. Базанов, Н.В. Гусева, А.А. Хвощевская, Н.Г. Наливайко // *Известия РАН. Серия географическая*. – 2016. – № 5. – С. 60–69.
21. Ландшафты болот Томской области / под ред. Н.С. Евсевой. – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – 400 с.
22. Lovley D.R., Blunt-Harris E.L. Role of humic-bound iron as an electron transfer agent in dissimilatory Fe (III) reduction // *Applied Environmental Microbiology*. – 1999. – V. 65. – P. 4252–4254.
23. Humic substances as electron acceptors for microbial respiration / D.R. Lovley, J.P. Coates, E.L. Blunt-Harris, E.J.P. Phillips, J.C. Woodward // *Nature*. – 1996. – V. 382. – P. 445–448.

24. Influence of the iron-reducing bacteria on the release of heavy metals in anaerobic river sediment / A. Gounou, N. Bousserhine, G. Varrault, J.-M. Mouchel // Water Air Soil Pollution. – 2010. – V. 312. – P. 123–139.
25. Krom M.D., Sholkovits E.R. On the association of iron and manganese with organic matter in anoxic marine pore waters // Geochimische Cosmochimie Acta. – 1978. – V. 42. – № 6. – P. 607–611.
26. Cronan D.S., Tromas R.L. Geochemistry of ferromanganese oxide concretions and associated deposits in Lake Ontario // Geological Society America Bulletin. – 1972. – V. 83. – № 5. – P. 1493–1501.
27. Lirde M., Oborn J., Gutafsson J.P. Effects of changed soil conditions on the mobility of trace metals in moderately contaminated urban soils // Water Air Soil Pollution. – 2007. – V. 183. – P. 69–83.

Поступила 26.06.2017 г.

Информация об авторах

Архипов В.С., кандидат химических наук, заведующий лабораторией кафедры химической технологии топлива и химической кибернетики Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDS 631.811.944.631.445.12

DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN GEOCHEMICALLY CONJUGATED WETLAND LANDSCAPES OF THE TAIGA ZONE IN WESTERN SIBERIA

Arkhipov Victor Sergeevich,

vsa@tpu.ru

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The aim the study. In the taiga zone of Western Siberia geochemically conjugated marsh landscapes associated with migratory flows of surface and soil-groundwater are spread. The aim of the work is to study the distribution of a group of elements in a peat deposit of two geochemically conjugated bogs occupying a watershed and a terrace within a common interfluvium.

Relevance. The data on distribution of elements in geochemically conjugated pools of bogs allow us to relate the conditions of peat accumulation (relief, composition of sedimentary interfluviums, vegetation cover, water-mineral regime) to migration of mineral compounds in marsh landscapes of the interfluvium. The information obtained is relevant in environmental applications. It can be used to assess the reservoir of a low-lying terraced swamp as a geochemical barrier in protection of river waters from man-made pollution.

Research methods. The work included peat sampling on two geochemically conjugated peat bogs (*Chistoe* and *Klyukvennoe*) and analysis of samples for the content of ash-forming elements and trace elements. On each swamp, five technological samples were selected, in which the content of Ca, Fe, Co, La, Sc, Ce, Th, Br was determined using the instrumental neutron activation analysis. In addition, the content of Mn is determined by a bulk method with a photocolometric termination.

Results. It is established that the ash content in peat bog *Klyukvennoe* is 3,8 times higher than in the peat of *Chistoe*. The contribution of different elements to mineralization of the peat deposit of *Klyukvennoe* bog is significantly different. The greatest increase (in 8–10 times) is revealed in Fe and Mn. The average growth rates (4,5–5 times) were noted in Sc, Co. The minimum values of growth (2–3 times) were recorded in Ca, Ce, Th, La, Br.

Conclusions. Peat deposit mineralization at *Klyukvennoe* bog is associated with removal of iron, manganese and other elements during interfluvium slope swamping and their subsequent accumulation in *Klyukvennoe* bog.

Key words:

Peat, deposit, geochemistry, conjugation, migration.

REFERENCES

1. *Evolutsiya pochvy i pochvennogo pokrova* [Evolution of soil and soil cover]. Eds. V.N. Kudeyarov, I.V. Ivanov. Moscow, GEOS Publ., 2015. 925 p.
2. *Nauchnye predposylki osvoeniya bolot Zapadnoy Sibiri* [Scientific precondition for assimilating bogs in Western Siberia]. Ed. by M.I. Neishtadt. Moscow, Nauka Publ., 1977. 227 p.
3. *Bolota Zapadnoy Sibiri, ikh stroeniye i gidrologicheskiy rezhim* [Bogs of Western Siberia, their structure and hydrological regime]. Eds. K.E. Ivanov, S.M. Novikov. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976. 447 p.
4. Dyukarev A.G., Lvov Yu.A., Khmelev V.A. *Prirodnye resursy Tomskoy oblasti* [Natural resource of Tomsk region]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 276 p.
5. Lapshina E.D., Muldiyarov E.I. Osnovnye etapy rasvitiya Bolshogo Vasyuganskogo bolota [Main stages of development of Great Wasyugan Bog]. *Bolshoe Vasyuganskoe boloto. Sovremennoe sostoyaniye i protsessy rasvitiya* [Great Wasyugan Bog. Current state and development]. Ed. by M.V. Kabanov. Tomsk, IOA SB RAS Press, 2002. pp. 36–44.
6. Maranger R., Canham Ch.D., Pace M.L., Papaik M.G. A spatially explicit model of iron loading to lakes. *Limnologiya. Oceanographiya*, 2006, vol. 51, no. 1, pp. 247–256.
7. Glazovskaya M.A. *Geokhimiya prirodnykh i tekhnogennykh landshaftov SSSR* [Geochemistry of natural and industrial landscapes of the USSR]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1988. 328 p.
8. Arkhipov V.S., Bernatonis V.K. Calcium and iron distribution in vertical profile of peat bogs in Western Siberia taiga zone. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 1, pp. 173–178. In Rus.
9. Arkhipov V.S., Bernatonis V.K. Distribution of manganese in peat deposits of the Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 7, pp. 27–35. In Rus.
10. *Torfyanye mestorozhdeniya Tomskoy oblasti* [Peatland of Tomsk region]. Eds. Ya.N. Zadunaysky, I.N. Kazakov, V.D. Markov, A.S. Provorkin, A.A. Sinadsky. Moscow, Geol'torforazvedka Publ., 1971. 306 p.
11. Arkhipov V.S., Preis Yu.I., Bernatonis V.K., Maslov S.G., Antropova N.A. *Bituminoznye torfa Tomskoy oblasti* [Bituminous peat in Tomsk region]. Tomsk, STT Publ., 2008. 240 p.
12. *Otchet o NIR «Razrabotat i vydat rekomendatsii po ratsionalnoy ispolzovaniyu v XII i XIII pyatiletkakh torfyanykh mestorozhdeniy tsentralnoy chasti Zapadnoy Sibiri»* [Develop and recommend rational application of peat bog in central part of Western Siberia in XII and XIII five-year plans]. No. NGR 01840085449. Tomsk, Tomsk Polytechnic Institute Publ., 1990. P. 2, 106 p.
13. Wedepohl R.H. Environmental influences on the chemical composition of shales and clays. *Physical Chemistry Earth*, 1971, vol. 8, pp. 310–338.
14. Arkhipov V.S., Bernatonis V.K., Rezhnikov V.I. Distribution of Iron Compounds in Peat Deposits of the Central Part of Western Siberia. *Eurasian Soil Sci.*, 1995, vol. 27, no. 7, pp. 65–76.
15. Tarasov S.I., Kuznetsova L.M. Standartizatsiya torfa, torfoproduktsii sel'skokhozyastvennogo naznacheniya [Standartization of peat, peat production for agriculture]. *Bolota i biosfera. Materialy IX shkoly molodykh uchenykh* [Bogs and biosphere. Pros. Of the IX school for young scientists]. Vladimir, STO Press, 2015. pp. 135–143.
16. Schwertmann U. Solubility and dissolution of iron oxides. *Plant Soil*, 1991, vol. 130, pp. 1–25.
17. *Otchet o NIR «Izuchenie mikroelementnogo sostava torfov i sapropel'ey Sibiri s tselyu ratsionalnogo ispolzovaniya ikh v sel'skom khozyaistve i fizioterapii»* [Study of microelement structure of peat and sapropel of Siberia for rational use in agriculture and physiotherapy]. NGR 01890058930. Tomsk, Tomsk Polytechnic Institute Publ., 1990. P. 1, 106 p.

18. Savichev O.G. Geochemical index of bog waters in Western Siberia taiga zone. *Izvestiya RAN, Seriya geographicheskaya*, 2015, no. 4, pp. 47–57. In Rus.
19. Shvartsev S.L., Rasskazov N.M., Sidorenko T.N., Zdvizhkov M.A. Geokhimiya prirodnykh vod rayona Bolshogo Vasyuganskogo bolota [Geochemistry of natural waters of Great Vasyugan Bog region]. *Bolshoe Vasyuganskoe boloto. Sovremennoe sostoyanie i protsessy razvitiya* [Great Vasyugan Bog. Current state and development]. Ed. by M.V. Kabanov. Tomsk, IOA SB RAS Publ., 2002. PP. 139–149.
20. Savichev O.G., Mazurov A.K., Semiletov I.P., Bazanov V.A., Guseva N.V., Chvachevskaya A.A., Nalivayko N.G. Hidrogeochemical conditions of oligotrophic ekosistem bog formation. *Izvestiya RAN. Seriya geographicheskaya*, 2016, no. 5, pp. 60–69. In Rus.
21. *Landshafty bolot Tomskoy oblasti* [Landscapes of bogs in Tomsk region]. Ed. by N.S. Evseeva. Tomsk, NTL Publ., 2012. 400 p.
22. Lovley D.R., Blunt-Harris E.L. Role of humic-bound iron as an electron transfer agent in dissimilatory Fe (III) reduction. *Applied Environmental Microbiology*, 1999, vol. 65, pp. 4252–4254.
23. Lovley D.R., Coates I.D., Blunt-Harris E.L., Phillips E.J.P., Woodward J.C. Humic substances as electron acceptors for microbial respiration. *Nature*, 1996, vol. 382, pp. 445–448.
24. Gounou A., Bousserhine N., Varrault G., Mouchel I.-M. Influence of the iron-reducing bacteria in the release of heavy metals in anaerobic river sediment. *Water Air Soil Pollution*, 2010, vol. 312, pp. 123–139.
25. Krom M.D., Sholkovits E.R. On the association of iron and manganese with organic matter in anoxic marine pore waters. *Ceochimische Cosmochimie Acta*, 1978, vol. 42, no. 6, pp. 607–611.
26. Cronan D.S., Tromas R.L. Geochemistry of ferromanganese oxide concretions and associated deposits in Lake Ontario. *Geological Society America Bulletin*, 1972, vol. 83, no. 5, pp. 1493–1501.
27. Linde M., Oborn J., Gutafsson J.P. Effects of changed soil conditions on the mobility of trace metals in moderately contaminated urban soils. *Water Air Soil Pollution*, 2007, vol. 183, pp. 69–83.

Received: 26 June 2017.

Information about the authors

Victor S. Arkhipov, Cand. Sc., head of the laboratory, National Research Tomsk Polytechnic University.