

УДК 911.52

Е.С. Иванова¹, Ю.А. Харанжевская², А.А. Миронов³**ЛАТЕРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДАХ БОЛОТ БАССЕЙНОВ РЕК БАКЧАР И ИКСА (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)**

Выполнена эколого-геохимическая оценка бассейнов рек Бакчар и Икса путем анализа латерального распределения и миграции химических элементов в водах болот. Проведенные исследования позволили отметить активное накопление Na^+ , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- и NO_3^- в пределах фаций Бакчарского болота, $\text{Fe}_{\text{общ}}$, NH_4^+ , NO_3^- и Cl^- – в пределах фаций Иксинского осушенного болота, Na^+ – в пределах фаций болота Самара. Интенсивный вынос Mg^{2+} установлен для Бакчарского болота; для болота Самара зафиксирован вынос $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и NO_3^- , осушенное Иксинское болото характеризуется отсутствием выноса элементов. Интенсивность латеральной миграции исследуемых элементов уменьшается в ряду: Иксинское болото – Бакчарское болото – болото Самара. Процессы миграции химических элементов болот Бакчарское и Самара имеют восходящую геохимическую структуру, для Иксинского болота отмечается пикообразное распределение элементов в геохимическом сопряжении.

Ключевые слова: болотные воды; контрастность; миграция элементов.

Введение. Специальный круг задач связан с изучением миграции химических элементов в ландшафтах по геохимическим сопряжениям, с выявлением основных миграционных потоков и путей перемещения вещества от автономных к подчиненным элементарным ландшафтам. Различный характер связей между элементарными ландшафтами, входящими в геохимическое сопряжение, отражается на перераспределении химических элементов. В этом аспекте интересным является процесс латеральной дифференциации веществ в пределах болот южно-таежной подзоны Западной Сибири, особенно в условиях усиления антропогенной нагрузки и ухудшения экологической обстановки. Известно, что болота отличаются своеобразием химического состава вод, торфов и характером протекающих в них процессов метаболизма. Формирование химического состава болотных вод происходит в условиях замедленного биологического круговорота веществ, контрастных окислительно-восстановительных условий. В настоящее время известен ряд работ, посвященных исследованию миграционных процессов в пределах болот, выявлению определяющих факторов геохимической миграции в торфяной залежи, перераспределению и закреплению веществ в зависимости от свойств элементов и их типологической принадлежности [Рассказов с соавт., 1975; Нечаева, 1981; Zaccone et al., 2007; Kosykh et al., 2009; Klavins et al., 2009; Степанова, 2011; Shvartsev et al., 2012; Архипов с соавт., 2013; Селиванова, 2014; Goldhaber et al., 2014]. Огромный вклад в современное ландшафтоведение внес выдающийся ученый Московского государственного университета – А.И. Перельман. Несомненно, следует отметить теоретическое обобщение, выполненное Д.В. Москов-

ченко [2010] о роли биогеохимической миграции элементов в формировании ландшафтно-геохимической структуры природных и техногенных ландшафтов заболоченных территорий севера Западной Сибири. Между тем, проблема распределения элементов в ряду сопряженных элементарных ландшафтов на заболоченной территории Западной Сибири остается достаточно слабо изученной и актуальной в условиях усиления антропогенной нагрузки на заболоченные территории. В связи с этим цель исследования состоит в эколого-геохимической оценке территории путем анализа латерального распределения и миграции химических элементов в водах болот южно-таежной подзоны Западной Сибири.

Материалы и методы исследований. Методика исследований включала в себя анализ распределения химических элементов в ряду сопряженных элементарных ландшафтов и условий, определяющих накопление или вынос ионов в процессе движения вод в толще торфяной залежи, оценку контрастности распределения ионов в водах болот бассейнов рек Бакчар и Икса. Исследования опирались на учение об элементарных геохимических ландшафтах в представлении Б.Б. Польшова [1956], развитое в дальнейшем А.И. Перельманом [1975] и М.А. Глазовской [1988]. Количественная оценка распределения химических элементов в ряду сопряженных элементарных ландшафтов проводилась в результате сравнения значений коэффициента латеральной дифференциации (L -анализ), который определялся отношением среднего содержания химического элемента в болотных водах в изучаемом подчиненном ландшафте к его содержанию в автономном ландшафте [Авессаломова, 1987]. Латеральная миграция представляет собой процессы

¹ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал СФНЦА РАН, Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия; мл. науч. с.; e-mail: ivanova_e_s@bk.ru

² Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал СФНЦА РАН, Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет; Томск, Россия; ст. науч. с.; канд. геол.-минерал. н.; e-mail: kharan@yandex.ru

³ Югорский государственный университет; Ханты-Мансийск, Россия, доцент кафедры химии, канд. биол. н.; e-mail: plein79@mail.ru

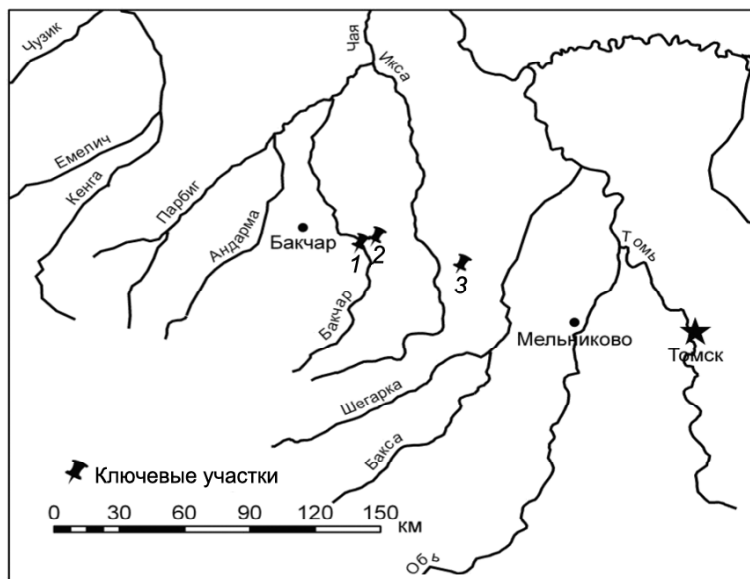


Рис. 1. Схема расположения ключевых участков отбора образцов болотной воды (ключевые участки: 1 – болото Самара; 2 – Бакчарское болото; 3 – Иксинское болото)

Fig. 1. Scheme of key sites of swamp water sampling: 1 – Samara mire; 2 – Bakchar bog; 3 – Iksha drained bog

перемещения веществ как по земной поверхности от автономного элементарного ландшафта к подчиненному, так и диффузное движение болотной воды в торфяной залежи. При анализе коэффициентов латеральной дифференциации принималось, что при $L > 1,7$ фация характеризуется высоким накоплением элемента, при $L = 1,1-1,6$ наблюдается накопление средней силы, при $L = 0,6-0,9$ отмечается незначительный вынос элементов, а при $L < 0,5$ – интенсивный вынос.

Для выявления степени контрастности латеральной дифференциации коэффициенты местной миграции (L) химических элементов в болотных водах подчиненных элементарных ландшафтов были распределены по следующим рядам: контрастные ($L < 0,5$ и $> 1,8$); слабоконтрастные (L от 0,5 до 0,8 и от 1,2 до 1,8) и неконтрастные (L от 0,8 до 1,1) [Квасникова, 2003].

В данной статье использована классификация геохимических структур ландшафтов Н.К. Чертко с соавт. [2006]. Согласно этой работе, при изучении геохимической структуры выделяется 5 видов структур в пределах ландшафтно-геохимической катены: восходящий, или асцендиальный – содержание химических элементов в пределах геохимической катены возрастает от автономного ландшафта к подчиненному; нисходящий, или дисцендиальный – содержание элементов убывает в том же направлении; депрессионный – содержание элементов минимально в транзитном ландшафте; пикообразный – содержание элементов максимально в транзитном ландшафте; равномерный – химические элементы равномерно распределяются в пределах ландшафтно-геохимической катены.

Описание окислительно-восстановительного потенциала торфяной залежи болот проведено соглас-

но шкале Н.К. Хтрына [Кауричев с соавт., 1982]. Анализ окислительно-восстановительного потенциала торфяной залежи болот проводился по имеющимся материалам наблюдений за 2006 г., а также с использованием опубликованных данных [Инишева с соавт., 2003, 2010]. При анализе окислительно-восстановительных условий Иксинского болота использовались данные по участку лесомелиорации в пределах Бакчарского болота.

Исследование латеральной дифференциации веществ в болотных водах проводилось в пределах верхового Бакчарского болота в междуречье рек Бакчар и Икса, болота Самара на террасе р. Бакчар, а также в пределах осушенного верхового Иксинского болота в бассейне реки Икса (рис. 1).

Бакчарское болото представляет собой северо-восточные отроги Васюганской болотной системы. В пределах верхового Бакчарского болота выделены следующие фации: трансэлювиальная фация (ТЭ) – шейхцериево-осоково-сфагновое болото, элювиально-аккумулятивная фация (ЭА) – сосново-кустарничково-сфагновое болото, аккумулятивно-элювиальная фация (АЭ) – березово-сосновое осоково-кустарничковое сфагновое болото. Исследуемый участок Бакчарского болота образовался при зарастании озера, а торфяная залежь мощностью около 2,7–3 м характеризуется наличием слоя низинного осокового торфа в основании, а сверху – пластинами верхового фускум-торфа и сосново-пушицево-сфагнового торфа (рис. 2). Подстилающие торфяную залежь породы представлены глинами [Инишева с соавт., 2003].

Болото Самара, является частью сложной болотной системы, протянувшееся вдоль уступа второй низкой надпойменной террасы, расположенной по левому берегу р. Бакчар. Болото характеризуется типичными чертами строения террасных болот малых рек на юге таежной зоны Западной Сибири, имеет дугообразную форму и общий уклон поверхности к северу и северо-востоку. В пределах болота Самара на террасе р. Бакчар выделены следующие фации: трансэлювиальная фация (ТЭ) – березово-сосновое сфагновое переходное болото, трансупераквальная фация (ТСА) – сосновое осоково-сфагновое низинное болото; супераквальная фация (СА) – березово-сосновое осоково-гипновое низинное болото (табл. 1). Торфяная залежь представлена в основном низинным типом и сложена древесным, древесно-осоковым видами торфа (рис. 3). Почвообразующие породы представлены преимущественно глинами. Мощность торфяной залежи составляет 1,5–3 м, достигая 7,2 м [О детальной разведке ..., 1988].

Третий ключевой участок расположен в бассейне р. Икса южнее трассы Томск–Бакчар. Иксинское болото также представляет собой северо-восточные отроги Васюганской болотной системы. Объект исследований был осушен в 1973–1979 гг.

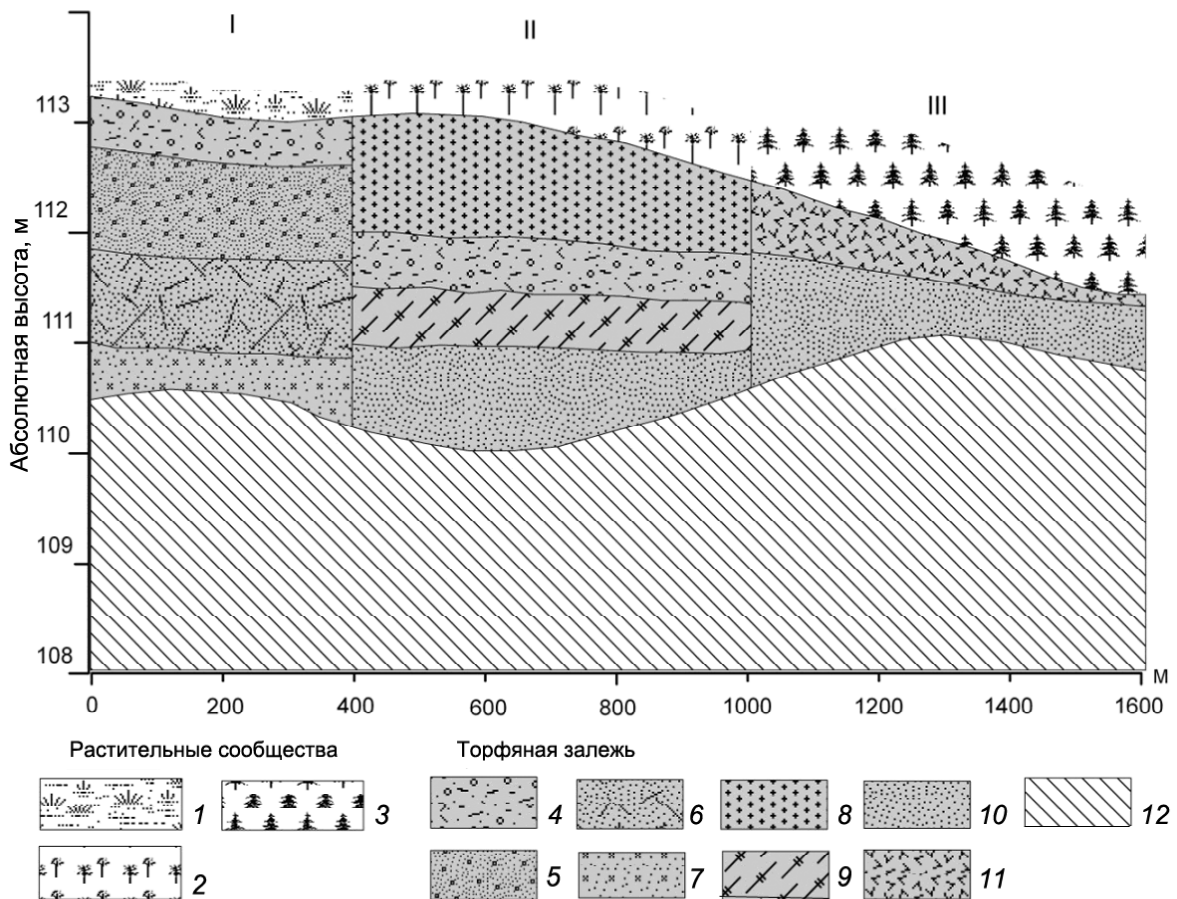


Рис. 2. Фации верхового Бакчарского болота: 1 – шейхцериево-осоково-сфагновое болото (ТЭ); 2 – сосново-кустарничково-сфагновое болото (ЭА); 3 – березово-сосновое осоково-кустарничковое сфагновое болото (АЭ); 4 – сфагновый мочажинный торф; 5 – комплексный верховой торф; 6 – осоковый переходный торф; 7 – травяной низинный торф; 8 – фускум торф; 9 – сосново-пушицево-сфагновый верховой торф; 10 – осоковый низинный торф; 11 – сосново-пушицевый верховой торф; 12 – глина

Fig. 2. The facies of oligotrophic Bakchar bog: 1 – scheuchzeria-carex-sphagnum bog (TE); 2 – pinus-shrub-sphagnum bog (EA); 3 – betula-pinus-carex-shrub sphagnum bog (AE); 4 – sphagnum peat; 5 – complex oligotrophic peat; 6 – carex mesotrophic peat; 7 – grass eutrophic peat; 8 – fuscum-peat; 9 – pinus-erriophorum-sphagnum oligotrophic peat; 10 – carex eutrophic peat; 11 – pinus-erriophorum oligotrophic peat; 12 – clay

общей площадью 4000 га с целью лесомелиорации. Уклон поверхности на запад и юго-запад [Геологический отчет ..., 1988]. В пределах верхового Иксинского болота выделены следующие звенья ландшафтно-геохимического сопряжения: трансэлювиальная фация (ТЭ) – грядово-озерковое сосново-кустарничковое осоково-сфагновое верховое болото; элювиально-аккумулятивная фация (ЭА) – сосново-кустарничково-сфагновое верховое болото; аккумулятивно-элювиальная фация (АЭ) – хвощово-шейхцериевое сфагновое верховое болото (табл. 1). Мощность торфяной залежи отличается большой мощностью и достигает 4,5 м [Ландшафты болот, 2012]. Торфяная залежь сложена верховыми типами торфов – фускум торфом, магелланикум торфом, комплексным верховым торфом. Подстилающая порода представлена суглинком (рис. 4) [О детальной разведке ..., 1988].

Лабораторные работы проведены в аккредитованном Лабораторно-аналитическом центре СибНИИСХиТ-филиала СФНЦА РАН (Аттестат об аккредитации № РОСС RU.0001.10ПФ01). Отбор

проб осуществлялся в 2010 году с учетом требований [ГОСТ Р 51 592–2000]. Определение химического состава болотных вод проводилось по аттестованным методикам, и включало в себя определение pH, концентраций главных ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- и биогенных компонентов $Fe_{общ}$, NO_3^- , NH_4^+ , а также гуминовых и фульвокислот. Общее число проб болотной воды составило 78.

Результаты исследований и их обсуждение. Химический состав болотных вод во многом определяет характер латеральной дифференциации минеральных веществ в пределах болот. По классификации А.И. Перельмана [1982], воды исследуемых верховых болот Бакчарского и Иксинского холодные, слабокислые глеевые, ультрапресные, богатые растворенными органическими веществами гумусовой природы, гидрокарбонатные, кальциевые болотные воды. Болотные воды исследуемого болота Самара холодные, нейтральные глеевые, пресные, имеют низкое содержание растворенных органических веществ гумусовой природы, гидрокарбонатные, кальциевые болотные воды.

Таблица 1

Химический состав болотных вод Бакчарского, Иксинского болот и болота Самара в 2010 г.

Показатель	Болото								
	Бакчарское			Иксинское			Самара		
	ТЭ	ЭА	АЭ	ТЭ	ЭА	АЭ	ТЭ	ТСА	СА
pH	4,10	3,84	4,37	4,16	3,33	4,26	6,65	7,00	6,94
Минерализация, мг	31,1	34,2	50,4	34,6	67,6	56,4	317,8	372,4	448,1
Фульвокислоты, мг/л	36,9	45,1	60,6	25,2	77,9	42,5	21,6	12,0	13,5
Гуминовые кислоты, мг/л	5,41	10,35	6,86	11,51	5,69	6,86	2,20	2,79	2,50
Ca ²⁺ , мг/л	4,62	5,34	9,61	6,41	16,8	10,4	111,8	113,8	131,1
Mg ²⁺ , мг/л	2,57	2,34	4,78	2,92	8,51	4,13	27,5	23,1	34,0
K ⁺ , мг/л	0,75	0,65	0,70	0,30	0,60	0,90	1,00	0,90	1,20
Na ⁺ , мг/л	1,10	0,96	1,54	0,60	0,70	0,40	19,5	32,00	52,40
HCO ₃ ⁻ , мг/л	16,34	15,2	23,7	34,2	39,1	41,5	295,3	383,2	439,3
Cl ⁻ , мг/л	5,53	7,01	8,78	2,36	6,02	4,14	3,29	3,42	3,08
SO ₄ ⁻ , мг/л	3,16	3,42	3,77	2,26	2,33	2,67	2,40	3,77	3,36
NH ₄ ⁺ , мг/л	3,00	5,24	7,18	1,09	7,37	3,03	1,68	1,81	2,25
NO ₃ ⁻ , мг/л	1,12	1,69	2,19	0,49	2,61	1,06	0,66	0,75	0,31
Fe _{общ} , мг/л	1,18	1,57	2,88	1,12	4,39	8,95	2,32	1,22	0,75

Примечание. Здесь и далее в таблицах даны усредненные концентрации за вегетационный период 2010 г. ТЭ – трансэлювиальная фация Бакчарского болота; ЭА – элювиально-аккумулятивная фация Бакчарского болота; АЭ – аккумулятивно-элювиальная фация Бакчарского болота; ТЭ – трансэлювиальная фация Иксинского болота; ЭА – элювиально-аккумулятивная фация Иксинского болота; АЭ – аккумулятивно-элювиальная фация Иксинского болота; ТЭ – трансэлювиальная фация болота Самара; ТСА – трансупераквальная фация болота Самара; СА – супераквальная фация болота Самара.

Исследования показали, что в водах Бакчарского болота концентрация минеральных веществ увеличивается от трансэлювиальной к аккумулятивно-элювиальной фации и изменяется от 31 до 50,4 мг/л, в среднем составляет 38,5 мг/л соответственно (табл. 1). Величина pH вод Бакчарского болота изменяется в интервале от 3,13 до 4,76. По результатам сравнения

наших величин pH болотной воды с данными Н.М. - Рассказова с соавт., [2005] и В.А. Лыгодина с соавт. [2008] было установлено повышенное подкисление вод исследуемых участков. Окислительно-восстановительный потенциал торфяной залежи Бакчарского болота (по усредненным данным) характеризует развитие интенсивно-окислительных условий (627–901 мВ)

в среднем до глубины 40 см, и интенсивно-восстановительных условий ((–162)–200 мВ) в нижних слоях торфяной залежи.

Активность миграции всех исследуемых элементов в болотных водах элювиально-аккумулятивной фации Бакчарского болота достаточно низкая и возрастает при переходе к аккумулятивно-элювиальной фации. Исследования показали, что для элювиально-аккумулятивной фации Бакчарского болота отмечается накопление в большей степени биогенных компонентов NH₄⁺, NO₃⁻ (L=1,7–1,6) и в меньшей степени Cl⁻, Fe_{общ}, HCO₃⁻ (L=1,5–1,1), а также наблюдается слабый вынос ионов Ca²⁺, SO₄⁻ (L=0,9) и интенсивный вынос Mg²⁺ (L=0,3) (табл. 2). Аккумулятивно-элювиальная фация характеризуется накоплением ионов Na⁺, Fe_{общ}, Mg²⁺, NH₄⁺, Cl⁻, NO₃⁻, Ca²⁺ (L=2,5–1,7), слабой аккумуляцией K⁺, HCO₃⁻ (L=1,2), и выносом SO₄²⁻ (L=0,9). Контрастность латерально-

Таблица 2

Коэффициенты латеральной дифференциации (L) элементарных геохимических ландшафтов верхового Бакчарского болота, осушенного Иксинского болота и болота Самара

Показатель	Болото								
	Бакчарское			Иксинское			Самара		
	ТЭ	ЭА	АЭ	ТЭ	ЭА	АЭ	ТЭ	ТСА	СА
Ca ²⁺	1,0	0,9	1,7	1,0	2,6	1,6	1,0	1,0	1,2
Mg ²⁺	1,0	0,3	2,4	1,0	2,9	1,4	1,0	0,8	1,2
K ⁺	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	3,0	1,0	0,9	1,2
Na ⁺	1,0	1,0	4,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,6	2,7
HCO ₃ ⁻	1,0	1,1	1,2	1,0	1,1	1,2	1,0	1,3	1,5
Cl ⁻	1,0	1,5	2,1	1,0	2,6	1,8	1,0	1,0	0,9
SO ₄ ⁻	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,2	1,0	1,6	1,4
NH ₄ ⁺	1,0	1,7	2,3	1,0	6,8	2,8	1,0	1,1	1,3
NO ₃ ⁻	1,0	1,6	2,0	1,0	5,4	2,2	1,0	1,1	0,5
Fe _{общ}	1,0	1,3	2,5	1,0	3,9	8,0	1,0	0,5	0,3

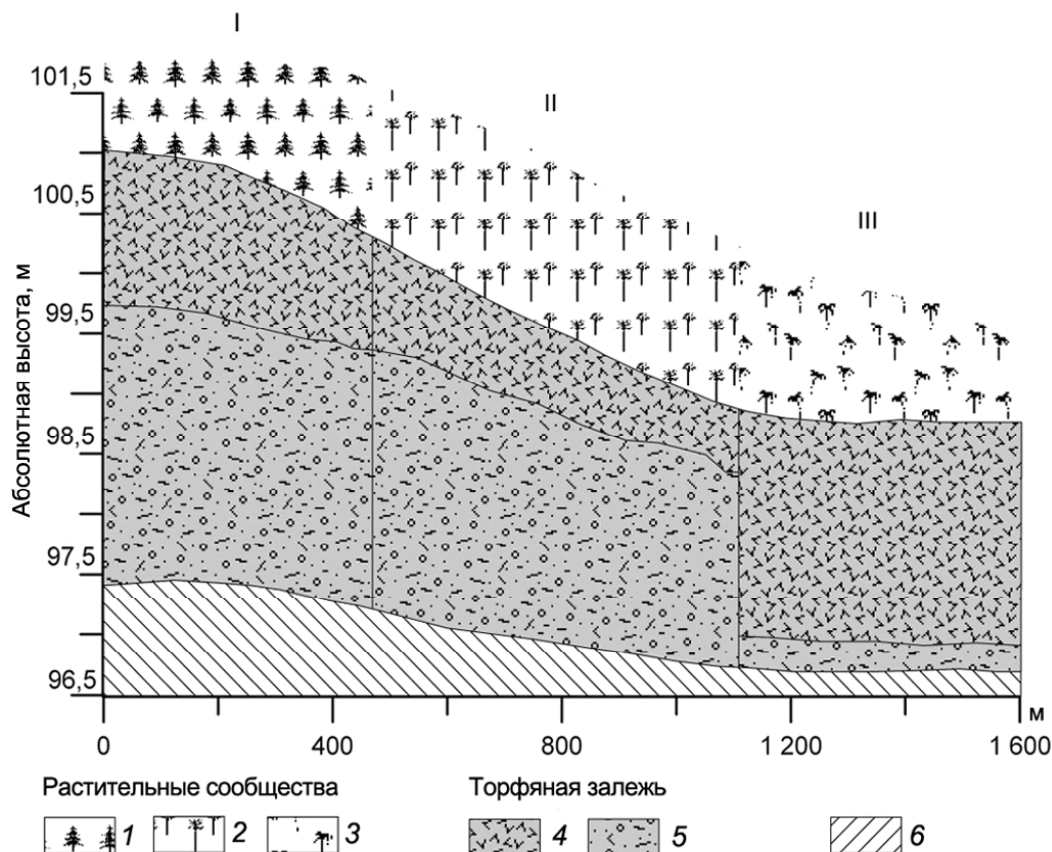


Рис. 3. Фации болота Самара: 1 – березово-сосновое сфагновое переходное болото (ТЭ); 2 – сосновое осоково-сфагновое низинное болото (ТСА); 3 – березово-сосновое осоково-гипнозное низинное болото (СА); 4 – древесно-осоковый низинный торф; 5 – древесный низинный торф; 6 – глина

Fig. 3. The facies of Samara mire: 1 – betula-pinus-sphagnum mesotrophic bog (TE); 2 – pinus-carex-sphagnum eutrophic bog (TSaQ); 3 – betula-pinus-carex-hypnum eutrophic bog (SaQA); 4 – woody-carex eutrophic peat; 5 – woody eutrophic peat; 6 – clay

го распределения является высокой для Na^+ ($L=4$), Mg^{2+} ($L=0,3-2,4$), $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ($L=2,5$), NH_4^+ ($L=2,3$), Cl^- ($L=2,1$), NO_3^- ($L=2,0$). В целом, распределение большинства элементов в латеральной структуре элементарных ландшафтов указывает на возрастание концентраций элементов к понижению рельефа, что говорит о восходящем (асцендиальном) виде геохимической структуры. Следует отметить, что пространственное увеличение концентраций главных ионов к периферии болотного массива отмечается и у Н.М. Расказова с соавт. [2001].

При изучении болота Самара было установлено, что концентрация минеральных компонентов в болотных водах увеличивается от трансэлювиальной к супераквальной фации от 317 до 448 мг/л, в среднем составляет 379,4 мг/л. Значения pH вод болота отмечаются в диапазоне 5,6–7,0. Торфяная залежь болота (по осредненным данным) характеризуется развитием сезонных слабо восстановительных процессов (535–630 мВ), сменяющихся на умеренно-окислительные условия в верхних горизонтах до 10 см. Далее развиваются устойчивые интенсивно-восстановительные процессы вплоть до подстилающих пород (82–221 мВ). Переходная зона от умеренно-окислительных к интенсивно-восстановительным условиям резкая.

Содержание основных элементов в болотных водах болота Самара превышает их концентрацию в водах Бакчарского и Иксинского болот (в 10–14 раз по Mg^{2+} и Ca^{2+} и в 9–19 раз по HCO_3^-). Не редкость, когда высокие концентрации элементов указывают на сильное накопление, однако общее пространственное распределение ионов Mg^{2+} , Ca^{2+} и HCO_3^- в водах болота Самара заключено в слабом накоплении этих элементов (табл. 1, 2). Исследования показали, что для трансупераквальной фации болота Самара отмечается слабое накопление следующих компонентов: Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NH_4^+ , NO_3^- ($L=1,6-1,1$); слабым выносом для следующих элементов: K^+ , Mg^{2+} ($L=0,9-0,8$) и интенсивным выносом для $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ($L=0,5$). Супераквальная фация характеризуется в основном слабым накоплением таких компонентов, как HCO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ ($L=1,5-1,2$), слабым выносом иона Cl^- ($L=0,9$), интенсивным выносом таких элементов, как NO_3^- и $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ($L=0,5-0,3$). Интенсивное накопление было установлено лишь для Na^+ ($L=2,7$). Контрастностью латерального распределения отмечаются Na^+ , $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и NO_3^- , слабой контрастностью характеризуются SO_4^{2-} , HCO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , к неконтрастным относится Cl^- (табл. 3). В целом, распределение большинства элементов в латеральной структуре элементарных

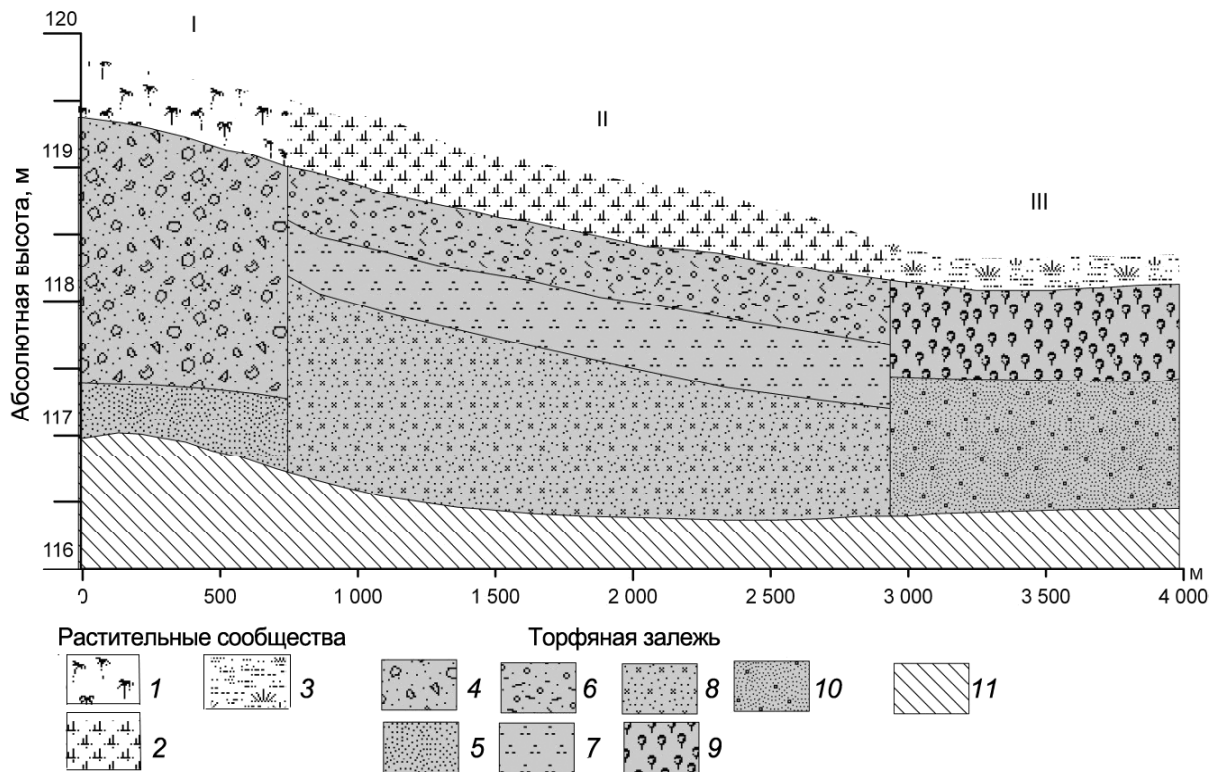


Рис. 4. Фации осушенного Иксинского болота: 1 – грядово-озерковое сосново-кустарничково-осоково-сфагновое верховое болото (ТЭ); 2 – сосново-кустарничково-сфагновое верховое болото (ЭА); 3 – хвощово-шейхцериевое сфагновое верховое болото (АЭ); 4 – фускум торф; 5 – пушицево-сфагновый верховой торф; 6 – комплексный верховой торф; 7 – сфагновый мочажинный верховой торф; 8 – шейхцериево-сфагновый верховой торф; 9 – магелланикум торф; 10 – древесно-осоковый переходный торф; 11 – суглинок

Fig. 4. The facies of Iksa drained bog: 1 – ridge-pool pinus-shrub-carex-sphagnum oligotrophic bog (TE); 2 – pinus-shrub-sphagnum oligotrophic bog (EA); 3 – equisetum-scheuchzeria sphagnum oligotrophic bog (AE); 4 – fuscum-peat; 5 – eriophorum-sphagnum oligotrophic peat; 6 – complex oligotrophic peat; 7 – sphagnum oligotrophic peat; 8 – scheuchzeria-sphagnum oligotrophic peat; 9 – magellanicum peat; 10 – woody-carex mesotrophic peat; 11 – loam

ландшафтов указывает на возрастание концентраций элементов к понижению рельефа, что говорит о восходящем (асцендиальном) виде геохимической структуры.

В пределах осушенного Иксинского болота минерализация болотных вод изменяется от 34 до 67 мг/л и в среднем составляет 52,3 мг/л. Наиболее высокие значения минерализации характерны для вод фации с элювиально-аккумулятивными условиями миграции. Трансэлювиальная и аккумулятивно-элювиальная фации верхового осушенного Иксинского болота характеризуются величинами pH – 4,1 и 4,3, что указывает на сходные условия формирования химического состава. Фация с элювиально-аккумулятивными условиями миграции элементов имеет более кислую среду, pH 3,3. Торфяная залежь Иксинского болота (на основе данных по объекту аналогу – участку лесомелиорации Бакчарского болота) вследствие осушения характеризуется появлением окислительных условий (681–996 мВ) до глубины 20–40 см, плавно перетекающих в умеренно-восстановительные с последующим интенсивным развитием восстановительных условий (–79–200 мВ). Обращает внимание устойчивость интенсивных процессов восстановления в нижней части профиля.

Нами было установлено, что исследуемые элементы в основном накапливаются в пределах элювиально-аккумулятивной фации (табл. 2). Интенсивным накоплением в пределах этой фации характеризуются ионы NH_4^+ , NO_3^- , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , ($L=6,8-2,6$). Выноса компонентов с этого участка не выявлено. Для фации с аккумулятивно-элювиальными условиями миграции элементов отмечается максимальное $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ($L=8,0$) и менее интенсивное накопление ионов K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- ($L=3,0-1,8$). Незначительным накоплением характеризуются Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} ($L=1,6-1,2$), а также установлен вынос Na^+ с аккумулятивно-элювиальной фации ($L=0,7$). Следует отметить, что увеличение концентрации железа на периферийных фациях по сравнению с центральными фациями болота также было обнаружено В.С. Архиповым с соавт. [2000]. Необходимо сказать, что максимальным накоплением в подчиненных фациях характеризуются биогенные элементы. Геохимическая структура по изученным нами химическим элементам была определена в основном как пикообразная, увеличение концентрации элементов происходит в основном в середине катены. Иксинское болото характеризуется максимальной контрастностью латеральной дифферен-

Таблица 3

Контрастность латеральной дифференциации химических элементов в болотных водах

Степень контрастности	Коэффициент латеральной дифференциации	Фашии исследуемых болот	Элементы
Контрастные	<0,5 и >1,8	Бакчарское болото, ЭА Бакчарское болото, АЭ Иксинское болото, ЭА Иксинское болото, АЭ Самара, ТСА Самара, СА	Mg^{2+} $Mg^{2+}, Na^+, Cl^-, NH_4^+, NO_3^-, Fe_{общ}$ $Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-, NH_4^+, NO_3^-, Fe_{общ}$ $K^+Cl^-, NH_4^+, NO_3^-, Fe_{общ}$ $Fe_{общ}$ $Na^+, NO_3^-, Fe_{общ}$
Слабо-контрастные	0,5–0,8 1,2–1,8	Бакчарское болото, ЭА Бакчарское болото, АЭ Иксинское болото, ЭА Иксинское болото, АЭ Самара, ТСА Самара, СА	$Cl^-, NH_4^+, NO_3^-, Fe_{общ}$ Ca^{2+}, K^+, HCO_3^- – $Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, HCO_3^-, SO_4^{2-}$ Na^+, HCO_3^-, SO_4^{2-} $Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, NH_4^+, HCO_3^-, SO_4^{2-}$
Неконтрастные	0,8–1,1	Бакчарское болото, ЭА Бакчарское болото, АЭ Иксинское болото, ЭА Иксинское болото, АЭ Самара, ТСА Самара, СА	$Ca^{2+}, K^+, Na^+, HCO_3^-, SO_4^{2-}$ SO_4^{2-} $K^+, Na^+, HCO_3^-, SO_4^{2-}$ – $Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+}, Cl^-, NH_4^+, NO_3^-$ Cl^-

циации компонентов $Fe_{общ}, NH_4^+, NO_3^-, Cl^-, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}$, в геохимическом сопряжении, как в элювиально-аккумулятивной фашии, так и в аккумулятивно-элювиальной (табл. 3).

Известно, что гуминовые вещества характеризуются разнообразием функциональных групп, что позволяет им образовывать комплексы с элементами различной природы и участвовать в миграционных процессах [Zaccone et al., 2007]. Корреляционный анализ показал, что интенсивность латерального распределения элементов тесно связана с содержанием в болотных водах гуминовых и фульвокислот. Коэффициент корреляции L с гуминовыми кислотами составил 0,77, с фульвокислотами – 0,73.

Выводы:

– воды исследуемых верховых болот Бакчарского и Иксинского холодные, слабокислые глеевые, ультрапресные, богатые растворенными органическими веществами гумусовой природы, гидрокарбонатные, кальциевые болотные воды. Болотные воды исследуемого болота Самара холодные, нейтральные глеевые, пресные, имеют низкое содержание растворенных органических веществ гумусовой природы, гидрокарбонатные, кальциевые болотные воды;

– окислительно-восстановительный потенциал торфяной залежи Бакчарского болота характеризуется развитием интенсивно-окислительных условий до глубины 40 см, и интенсивно-восстановительных условий в нижних слоях торфяной залежи. Торфяная залежь болота Самара отличается развитием се-

зонных слабовосстановительных и умеренно-окислительных условий в верхних горизонтах до 10 см и устойчивых интенсивно-восстановительных в нижних. Торфяная залежь осушенного Иксинского болота (на основании данных по объекту-аналогу) показывает интенсивное развитие окислительных условий до глубины 20–40 см, плавно перетекающих в умеренно-восстановительные с последующим интенсивным развитием восстановительных условий;

– бакчарское верховое болото характеризуется накоплением Na^+ ($L=4,0$), $Fe_{общ}$ ($L=2,5$), Mg^{2+} ($L=2,4$), NH_4^+ ($L=2,3$), Cl^- ($L=2,1$) и NO_3^- ($L=2,0$) в пределах элювиально-аккумулятивной фашии, интенсивный вынос Mg^{2+} ($L=0,3$) характерен для аккумулятивно-элювиальной фашии;

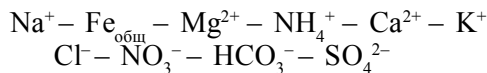
– для болота Самара выявлено активное накопление только Na^+ ($L=2,7$) в пределах супераквальной фашии, но также зафиксирован интенсивный вынос $Fe_{общ}$ ($L=0,5–0,3$) и NO_3^- ($L=0,5$) в пределах супераквальной и трансупераквальной фашии;

– в пределах Иксинского осушенного болота было определено интенсивное накопление $Fe_{общ}$ ($L=8,0–3,9$), NH_4^+ ($L=6,8–2,8$), NO_3^- ($L=5,4–2,2$) и Cl^- ($L=2,6–1,8$) в пределах аккумулятивно-элювиальной фашии и Mg^{2+} ($L=2,9$), Ca^{2+} ($L=2,6$) в пределах элювиально-аккумулятивной фашии, интенсивного выноса не отмечено;

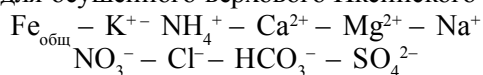
– интенсивность латеральной миграции и контрастность исследуемых элементов уменьшается в ряду: Иксинское болото – Бакчарское болото – болото Самара. Контрастностью латеральной диффе-

ренциации в геохимическом сопряжении отмечают компоненты $Fe_{\text{общ}}$ ($L=8,0$), NH_4^+ ($L=6,8$), NO_3^- ($L=5,4$), Na^+ ($L=4,0$), K^+ ($L=3,0$), Mg^{2+} ($L=0,3-2,9$);

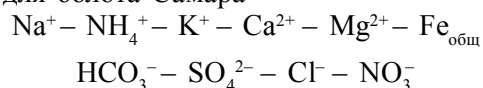
– коэффициент латеральной дифференциации значительно варьирует вниз по катене, в зависимости от ландшафтных условий и уменьшается в ряду:
– для естественного верхового Бакчарского болота



– для осушенного верхового Иксинского болота



– для болота Самара



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов: Уч.-метод. пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 108 с.

Архипов В.С., Бернатонис В.К. Распределение кальция и железа в вертикальном профиле торфяных залежей таежной зоны Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 1. С. 173–178.

Архипов В.С., Бернатонис В.К., Резчиков В.И. Распределение Fe, Co и Cr в торфяных залежах центральной части Западной Сибири // Почвоведение. 2000. № 12. С. 1439–1447.

Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высш. шк., 1988. 329 с.

ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Госстандарт России, 2000. 31 с.

Инишева Л.И., Виноградов В.Ю., Голубина О.А., Ларина Г.В., Порохина Е.В., Шинкеева Н.А., Шурова М.В. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета (программа научных экскурсий Всероссийской научной школы молодых ученых «Болота и Биосфера»). Томск: Изд-во ТГПУ, 2010. 118 с.

Инишева Л.И., Дементьева Т.В., Головацкая Е.А., Порохина Е.В. Научно-исследовательский полигон «Васюганье». Программа научной экскурсии. Томск: ЦНТИ, 2003. 88 с.

Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М.: Колос, 1982. 247 с.

Квасникова З.Н. Геохимические ландшафты Томь-Яйского междуречья в пределах Томской области. Дис. ... канд. геогр. н. Томск, 2003.

Ландшафты болот Томской области / Под ред. Н.С. Евсевой. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. 400 с.

Льготин В.А., Савичев О.Г., Савичева О.Г. Эколого-геохимическое состояние ненарушенных болотных систем на территории Томской области (Западная Сибирь) // Изв. Томского политех. ун-та. 2008. Т. 313. № 1. С. 92–97.

Московченко Д.В. Геохимия ландшафтов севера Западно-Сибирской равнины: структурно-функциональная организация вещества геосистем и проблемы экодиагностики. Дис. ... докт. геогр. н. Спб, 2010.

Нечаева Е.Г. Геохимия болот южно-таежного Прииртышья и их ресурсные достоинства // География и природные ресурсы. 1981. № 4. С. 105–113.

О детальной разведке торфяного месторождения «Поротниковское» Бакчарского района Томской области, проведенной в 1987–1988 гг. [Текст, карты] Геологический отчет (в одной

– исследования за процессами миграции элементов в пределах ключевых участков показали, что болота Бакчарское и Самара имеют восходящую геохимическую структуру, для Иксинского болота отмечается пикообразное распределение элементов в геохимическом сопряжении.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в перспективе в условиях дальнейшего усиления антропогенной нагрузки и ухудшения экологической обстановки в регионе возможно увеличение интенсивности миграции и контрастности латеральной дифференциации веществ в пределах болот южно-таежной подзоны Западной Сибири, при этом верховые болота, являясь концентраторами загрязняющих веществ из атмосферы, в определенных условиях могут способствовать их поступлению в речные и подземные воды территории.

книге) / Производственное геологическое объединение по разведке торфа «Торфгеология»; Отв. исполнитель – Гусева Г.А. Горький, 1988. 249 с. Исполн.: Гусакова Г.А., Стариченков И.П., Лисковец С.Я., Козлов В.А., Маркина Н.А., Коршунова Е.Н., Антонова Г.С., Белякова С.В. – Библиогр.: с. 14–15 – № ГР 35-87-13/2 – Инв. № нет.

О детальной разведке торфяного месторождения «Васюганское» (участок №5 у с. Плотниково) Шегарского и Бакчарского района Томской области, проведенной в 1987–1988 гг. [Текст, карты] Геологический отчет (в 10 книгах) / Производственное геологическое объединение по разведке торфа «Торфгеология»; Отв. исполнитель – Гусева Г.А. Горький, 1988. 342 с. Исполн.: Гусакова Г.А., Стариченков И.П., Лисковец С.Я., Козлов В.А., Маркина Н.А., Максимова М.И., Кудинова Е.И., Антонова Г.С., Белякова С.В. Библиогр. с. 13–14 – № ГР 35-87-13/1. – Инв. № нет.

Полынов Б.Б. Геохимические ландшафты. Избр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1956.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 394 с.

Перельман А.И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 154 с.

Рассказов Н.М. Основные особенности химического состава болотных вод (на примере юго-восточной части Западной Сибири) // Изв. Томского политех. ун-та. 2005. Т. 308. № 4. С. 55–58.

Рассказов Н.М., Бернатонис В.К., Архипов В.С. Геохимические особенности Большого Васюганского болота // Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых. Томск: Изд-во ТПУ, 2001. С. 312–315.

Рассказов Н.М., Удодов П.А., Назаров А.Д., Емельянова Т.Я. Болотные воды Томской области // Изв. Томского политех. ин-та. 1975. Т. 297. С. 102–117.

Селиванова Д.А., Московченко Д.В. Эколого-геохимическое состояние почв Приполярного Урала ХМАО-Югры // Недропользование XXI век. 2014. № 3. С. 92–97.

Степанова В.А. Геохимические структуры болотных ландшафтов // Почвы в условиях природных и антропогенных стрессов. XIV Докучаевские молодежные чтения: Мат-лы Всерос. научной конф. Санкт-Петербург, 2011. С. 369–371.

Чертко Н.К., Карпиченко А.А., Жумарь П.В., Сергиеня Т.А. Геохимическая структура как основа оценки латерального распределения // Ландшафтное разнообразие Белоруссии на основе геохимических структур. 2006. С. 137–141.

Goldhaber M.B., Mills C.T., Morrison J.M., Stricker C.A., Musher D.M., La Baugh J.W. Hydrogeochemistry of prairie pothole

region wetlands: Role of long-term critical zone processes // *Chemical Geology*. 2014. V. 387. P. 170–183.

Klavins M., Silamikele I., Nikodemus O., Kalnina L., Kuske E., Rodinov V., Purmalis O. Peat properties, major and trace element accumulation in bog peat in Latvia // *Baltica*. 2009. V. 22. № 1. P. 37–49.

Kosykh N., Mironycheva-Tokareva N., Parshina E. The carbon and macroelements budget in the bog ecosystems of the middle taiga in Western Siberia // *International J. Environmental Studies*. London, 2009. V. 66. P. 485–493.

Shvartsev S.L., Zdvizhkov M.A., Serebrennikova O.V., Savichev O.G., Naimushina O.S. Geochemistry of wetland waters from the lower tom basin, southern Tomsk oblast // *Geochemistry international*. 2012. V. 50. № 4. C. 367–380.

Zaccone C., Cocozza C., Cheburkin A.K., Shotyk W., Miano T.M. Enrichment and depletion of major and trace elements, and radionuclides in ombrotrophic raw peat and corresponding humic acids // *Geoderma*. 2007. № 141. P. 235–246.

Поступила в редакцию 24.02.2016

Принята к публикации 31.03.2017

E.S. Ivanova¹, Y.A. Kharanzhevskaya², A.A. Mironov³

**LATERAL DISTRIBUTION AND MIGRATION OF CHEMICAL ELEMENTS
IN SWAMP WATERS WITHIN THE BAKCHAR
AND IKSA RIVER BASINS (WESTERN SIBERIA)**

The ecological-geochemical assessment of the Bakchar and Iksa river basins is based on the analysis of lateral distribution and migration of chemical elements in swamp waters. The active accumulation of Na^+ , Fe_{total} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- and NO_3^- was revealed within the facies of the Bakchar bog; Fe_{total} , NH_4^+ , NO_3^- and Cl^- accumulate within the facies of the Iksa drained bog, and Na^+ within the facies of the Samara mire. Intensive removal of Mg^{2+} is typical of the Bakchar bog; removal of Fe_{total} and NO_3^- takes place in the Samara mire, while the Iksa drained bog is characterized by no elements removal. The intensity of lateral migration of the studied elements decreases in the series «the Iksa bog – the Bakchar bog – the Samara mire». Migration of chemical elements in the Bakchar bog and the Samara mire has rising geochemical structure, and the Iksa bog has a pike-shaped distribution of geochemical elements.

Key words: swamp water; lateral differentiation; contrast, migration, Western Siberia.

REFERENCES

Arhipov V.S., Bernatonis V.K. Raspredelenie kaltsiya i zheleza v vertikalnom profile torfyanykh zalezhej tayozhnoj zony Zapadnoj Sibiri [Distribution of calcium and iron in the vertical profile of peat deposits of the taiga zone of Western Siberia] // *Bul. of the Tomsk Polytechnic University*. 2013. V. 323. № 1. P. 173–178. (in Russian)

Arhipov V.S., Bernatonis V.K., Rezhikov V.I. Raspredelenie Fe, Co i Cr v torfyanykh zalezhakh tsentralnoj chasti Zapadnoj Sibiri [The distribution of Fe, Co and Cr in peat deposits in the central part of Western Siberia] // *Pochvovedenie*. 2000. № 12. P. 1439–1447 (in Russian).

Avessalomova I.A. Geolhimicheskie pokazateli pri izuchenii landshaftov [Geochemical indicators in the study of landscapes] *Ucheb. metod. posobie*. M.: Izd. Moscow Univ., 1987. 108 p. (in Russian).

Chertko N.K., Karpichenko A.A., Zhumar P.V., Sergienya T.A. geokhimicheskaya struktura kak osnova otsenki lateralnogo raspredeleniya [Geochemical structure as a basis for the lateral distribution assessment] // *Landscape variety of Belarus on the basis of geochemical structures*. 2006. P. 137–141 (in Russian).

Glazovskaja M.A. Geokhimiya prirodnykh i technogennykh landshaftov SSSR [Geochemistry of natural and technogenic landscapes of the USSR] M.: Vyssh. Shk., 1988. 329 p. (in Russian).

Goldhaber M.B., Mills C.T., Morrison J.M., Stricker C.A., Mushet D.M., La Baugh J.W. Hydrogeochemistry of prairie pothole region wetlands: Role of long-term critical zone processes // *Chemical Geology*. 2014. V. 387. P. 170–183.

GOST R 51592–2000. Voda. Obshchie trebovaniya k onboru prob [Water.General requirements for sampling]. M.: Gosstandart Rossii, 2000. 31 p. (in Russian).

Inisheva L.I., Dementeva T.V., Golovackaya E.A., Porohina E.V. Nauchno-issledovatel'skij polygon «Vasyuganie» [The Vasyugan Region research polygon]. Programma nauchnoj ekskursii. Tomsk: CNTI, 2003. 88 p. (in Russian).

Inisheva L.I., Vinogradov V.Ju., Golubina O.A., Larina G.V., Porohina E.V., Shinkeeva N.A., Shurova M.V. Bolotnye statsionary Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta [Swamp stations of the Tomsk state pedagogical university (program of scientific excursions of the All-Russian scientific school for young scientists «Swamps and Biosphere»)]. Tomsk: TGPU, 2010. 118 p. (in Russian).

Kaurichev I.S., Orlov D.S. Okislitelno-vosstanovitelnye protsessy i ikh rol' v genezise i plodorodii pochv [Oxidation-reduction processes and their role in genesis and fertility of soils]. M.: Kolos, 1982. 247 p. (in Russian).

Klavins M., Silamikele I., Nikodemus O., Kalnina L., Kuske E., Rodinov V., Purmalis O. Peat properties, major and trace element accumulation in bog peat in Latvia // *Baltica*. 2009. V. 22. № 1. P. 37–49.

Kosykh N., Mironycheva-Tokareva N., Parshina E. The carbon and macroelements budget in the bog ecosystems of the middle taiga in Western Siberia. London, 2009 // *International J. Environmental Studies*. V. 66. P. 485–493.

¹ Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – branch of SFRCA RAS, Tomsk, National Research Tomsk State University, Russia, Junior Scientific Researcher; *e-mail:* ivanova_e_s@bk.ru

² Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – branch of SFRCA RAS, Tomsk, National Research Tomsk State University, Russia, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geology and Mineralogy; *e-mail:* kharan@yandex.ru

³ Ugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia, Department of Chemistry, Associate Professor, Ph.D. in Biology; *e-mail:* plein79@mail.ru

Kvasnikova Z.N. Geokhimichaskie landshafty Tom'-Yajskogo mezhdurechiya v predelakh Tomskoj oblasti [Geochemical landscapes of the Tom-Yaya river interfluvium within the Tomsk region // Thesis for the degree of candidate of geographical sciences. Tomsk, 2003 (in Russian).

Landshafty bolot Tomskoj oblasti [Landscape bogs of Tomsk Region] / Ed. N.S. Evseeva. Tomsk: Publishing NTL, 2012. 400 p. (in Russian).

Lgotin V.A., Savichev O.G., Savicheva O.G. Ekologo-geokhimicheskoe sostoyanie nenarushennykh bolotnykh system na territorii Tomskoj oblasti (Zapadnaya Sibir') [Ecogeochemical state of undisturbed wetland ecosystems in the Tomsk Region (Western Siberia)] // Bul. of the Tomsk Polytechnic university. 2008. V. 313. № 1. P. 92–97 (in Russian).

Moskovchenko D.V. Geokhimiya landshaftov severa Zapadno-Sibirskoy ravniny: strukturno-funktsionalnaya organizatsiya veshchestva geosystem i problemy ekodiagnostiki [Geochemistry of landscapes in the north of the West Siberian Plain: structural and functional organization of the geosystem matter and the problems of ecodiagnosics]. Thesis for the degree of Doctor of Geographical Sciences. St. Petersburg, 2010 (in Russian).

Nechaeva E.G. Geokhimiya bolot yuzhno-tayozhnogo Priirtyshiya i ikh resursnye dostoinstva [Geochemistry of bogs in the southern taiga Irtysh region and their resource advantages] // Geography and natural resources. 1981. № 4. P. 105–113 (in Russian).

O detalnoj razvedke torfyanogo mestorozhdeniya «Porotnikovskoe» Bakcharskogo raiona Tomskoj oblasti provedennoj v 1987–1988 gg. [On the detailed exploration of the peatland «Porotnikovskoe» of the Bakchar district, the Tomsk region, conducted in 1987–1988]. [Text, maps] Geological report (in one book) / Production geological association for peat exploration «Torfgeology»; Principal Investigator – G. Guseva. Gorky, 1988. 249 p. Investigators: Gusakova G.A., Starichenkov I.P., Liskovets S.Ya., Kozlov V.A., Markina N.A., Korshunova E.N., Antonova G.S., Belyakova S.V. P. 14–15. № GR 35-87-13 / 2 (in Russian).

O detalnoj razvedke torfyanogo mestorozhdeniya «Vasyuganskoe» (uchastok 5 u s. Plotnikovo) Shegarskogo i Bakcharskogo raionov Tomskoj oblasti provedennoj v 1987–1988 gg. [On the detailed exploration of the peatland Vasyuganskoye (plot No. 5 near Plotnikovo) of the Shegarsky and Bakcharsky Districts, the Tomsk Region, conducted in 1987–1988]. [Text, maps] Geological report (in 10 books) / Production geological association for peat exploration «Torfgeology»; Principal investigator –

G. Gusev. Gorky., 1988. 342 p. Investigators: Gusakova G.A., Starichenkov I.P., Liskovets S.Ya., Kozlov V.A., Markina N.A., Maksimova M.I., Kudinova E.I., Antonova G.S., Belyakova S.V. Bibliography: p. 13–14. № GR 35-87-13 / 1 (in Russian).

Perelman A.I. Geokhimiya prirodnykh vod [Geochemistry of natural waters]. M.: Nauka, 1982. 154 p.

Perelman A.I. Geokhimiya landshafta [Geochemistry of the landscape]. M.: Higher School, 1975. 394 p. (in Russian).

Polynov B.B. Geokhimicheskie landshafty [Geochemical landscapes]. Selected Works. M.: Publisher USSR Academy of Sciences, 1956 (in Russian).

Rasskazov N.M. Osnovnye osobennosti khimicheskogo sostava bolotnykh vod (na primere yugo-vostochnoj chasti Zapadnoj Sibiri) [The main features of the chemical composition of swamp water (case study of the south-eastern part of Western Siberia)] // Bul. of the Tomsk Polytechnic university. 2005. V. 308. № 4. P. 55–58 (in Russian).

Rasskazov N.M., Bernatonis V.K., Arhipov V.S. Geokhimicheskie osobennosti Bolshogo Vasyuganskogo bolota [Geochemical features of the Great Vasyugan bog] // Regional geology. Geology of Mineral Deposits: Proceedings. Tomsk: Publishing TPU, 2001. P. 312–315 (in Russian).

Rasskazov N.M., Udodov P.A., Nazarov A.D., Emeljanova T.Ja. Bolotnye vody Tomskoi oblasti [Swamp water of the Tomsk Region] // Bul. of the Tomsk Polytechnic Institute. 1975. V. 297. P. 102–117 (in Russian).

Selivanova D.A., Moskovchenko D.V. Ekologo-geokhimicheskoe sostoyanie pochv Pripolyarnogo Urala KhMAO-Yugry [Ecological and geochemical state of soils of the Cis-Polar Urals within the KhMAO-Ugra] // Nedropolzovanie XXI vek. 2014. № 3. P. 92–97 (in Russian).

Shvartsev S.L., Zdvizhkov M.A., Serebrennikova O.V., Savichev O.G., Naimushina O.S. Geochemistry of wetland waters from the lower tom basin, southern Tomsk oblast // Geochemistry international. 2012. V. 50. № 4. P. 367–380.

Stepanova V.A. Geokhimicheskie struktury bolotnykh landshaftov [The chemical structures of swamp landscapes] // Soils in the conditions of natural and anthropogenic stresses. XIV Dokuchaev youth read: Proceedings of the Scientific Conference. St. Petersburg, 2011. P. 369–371 (in Russian).

Zacccone C., Cocozza C., Cheburkin A.K., Shotykh W., Miano T.M. Enrichment and depletion of major and trace elements, and radionuclides in omdrotrophic raw peat and corresponding humic acids // Geoderma. 2007. № 141. P. 235–246.

Received 24.02.2016

Accepted 31.03.2017