



25. Лебедева Л. А. Опыт картирования распространения и плотности населения птиц в саратовском Заволжье // *Материалы III Всесоюз. орнитол. конф.* Львов : Из-во Львов. ун-та, 1962. Кн. 2. С. 69–70.
26. Лебедева Л. А. Птицы саратовского Заволжья (эколого-фаунистические особенности орнитофауны) : дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 1967. 220 с.
27. Доброхвалов В. П. Очерк истории степного лесоразведения. М. : Изд-во МГУ, 1950. 208 с.
28. Завьялов Е. В., Шляхтин Г. В., Пискунов В. В., Лебедева Л. А., Табачишин В. Г., Подольский А. Л., Саранцева Е. И., Баюнов А. А., Якушев Н. Н., Кочетова И. Б. Хищные птицы Саратовской области // *Беркут* : Укр. орнитол. журн. 1999. Т. 8, вып. 1. С. 21–45.
29. Беляченко А. А., Беляченко А. В. Квадрат 38UMC2. Саратовская область // *Фауна и население птиц Европейской России. Ежегодник Программы «Птицы Москвы и Подмосквья».* № 5. М. : КМК Scientific Press, 2015. С. 279–284.
30. Зав'ялов С. В., Табачишин В. Г., Шляхтин Г. В., Якушев М. М. Гніздова фауна птахів національного парку «Хвалінський» (Саратовська область, Росія) // *Пріоритети орнітологічних досліджень: матеріали і тези доповідей VIII наук. конф. орнітологів заходу України, присвяч. пам'яті Густава Бельке (24.07.1810–03.03.1873).* Львів ; Кам'янець-Подільський : Видавництво Кам'янець-Подільського держав. ун-та, 2003. С. 127–128.
31. Антончиков А. Н., Пискунов В. В. Численность хищных птиц, гнездящихся в Саратовской области // *Материалы IV конф. по хищным птицам Северной Евразии.* Пенза : Изд-во Пенз. ун-та, 2003. С. 126–128.

Образец для цитирования:

Серебрякова С. Ю., Мосолова Е. Ю., Табачишин В. Г. Динамика численности и современное состояние популяции кобчика (*Falco Vespertinus* Linnaeus, 1766) на севере Нижнего Поволжья // *Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология.* 2016. Т. 16, вып. 4. С. 445–450. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-4-445-450.

УДК 581.526.33

ДИНАМИКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И НАКОПЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЕНЕЗИСЕ ВОДРАЗДЕЛЬНЫХ БОЛОТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

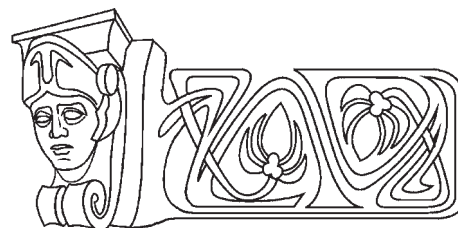
Е. М. Волкова¹, С. В. Горелова², Д. А. Чекова¹

¹Тулский государственный университет

E-mail: convallaria@mail.ru

²Институт повышения квалификации и профессиональной переподготовки работников образования, Тула

E-mail: salix35@gmail.com



В статье рассматривается динамика экологических условий в процессе развития водораздельных болот карстово-суффозонного происхождения. Показано, что генезис болот зависит от состояния окружающих ландшафтов, типа подстилающих пород и особенностей водно-минерального питания, что приводит к различиям в аккумуляции химических элементов в торфяных отложениях. Для каждого элемента определен «природный фон», относительно которого показаны превышения, связанные с антропогенным воздействием. По накоплению элементов в поверхностных горизонтах торфяных отложений проведена оценка экологического состояния региона.

Ключевые слова: болотные экосистемы, генезис, торфяная залежь, химические элементы.

The Dynamic of Ecological Conditions and Accumulation of Chemical Elements in Genesis of Watershed Mires of Central Russia

E. M. Volkova, S. V. Gorelova, D. A. Chekova

The article shows the dynamic of ecological conditions during development of watershed mires of karst origin. The genesis of mires depends

on state of surrounding landscapes, types of bedrocks and hydrology. All these features lead to differences in accumulation of chemical elements in peat deposits. For each element the natural background was defined. The exceedances of natural background indicate anthropogenic impact. By this way, ecological situation of the region was defined.

Key words: mire ecosystems, genesis, peat deposits, chemical elements.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-4-450-462

Болотные экосистемы характеризуются способностью аккумулировать химические вещества, приносимые как атмосферными осадками, так и грунтовыми и поверхностными водами. Такие вещества накапливаются в растениях и с отмиранием последних сохраняются в торфе. В результате торфяная залежь консервирует как биогенные элементы, так и поллютанты, что позволяет рассматривать ее как «депо» химических веществ и элементов, которые аккумулировались в течение всех этапов развития болота.



Содержание различных элементов по профилю торфяных залежей является индикатором экологической ситуации окружающих ландшафтов в разные временные периоды развития болота. При этом накопление поллютантов в верховом торфе болот свидетельствует об атмосферном переносе загрязняющих агентов [1–5]. Низинные торфа формируются при преимущественном питании растений грунтовыми или поверхностными водами [6–10] и являются индикаторами эдафических параметров ландшафтов.

Аккумуляция веществ и элементов происходит в разных геолого-гидрологических условиях болот, что определяет характер растительности и торфа. Это позволяет на основании результатов ботанического анализа торфяных отложений реконструировать экологические условия на каждом этапе развития болотной экосистемы и выявить взаимосвязь аккумуляции комплекса химических (в том числе токсичных) элементов и характера техногенной нагрузки. Подобные исследования важны для выявления роли природных и антропогенных факторов в оценке экологического состояния регионов.

Объекты и методы

Исследования проводили на территории Тульской области, характеризующейся высоким уровнем промышленного загрязнения [11]. Модельными объектами являлись водораздельные болота карстово-суффозионного происхождения, различающиеся по возрасту, интенсивности прироста торфа, составу и структуре торфяных отложений [12].

Болото Клюква (рис. 1) образовалось в понижении зандровых равнин по правому берегу р. Оки и окружено хвойно-широколиственным лесом. Болото занимает площадь 1 га и подстилается флювиогляциальными песками. Глубина торфяной залежи 2,7 м. Растительность представлена грядово-мочажинным комплексом фитоценозов с сосново-пушицево-сфагновыми сообществами на грядах (*Pinus sylvestris* – *Eriophorum vaginatum* – *Sphagnum magellanicum* + *S. angustifolium*) и кустарничково-сфагновыми ценозами (*Oxycoccus palustris* – *Sphagnum angustifolium* + *S. fallax*) в мочажинах. Олиготрофный характер растительности подтверждается свойствами болотных вод: рН = 2,8–2,9 и минерализация – 42 мг/л.

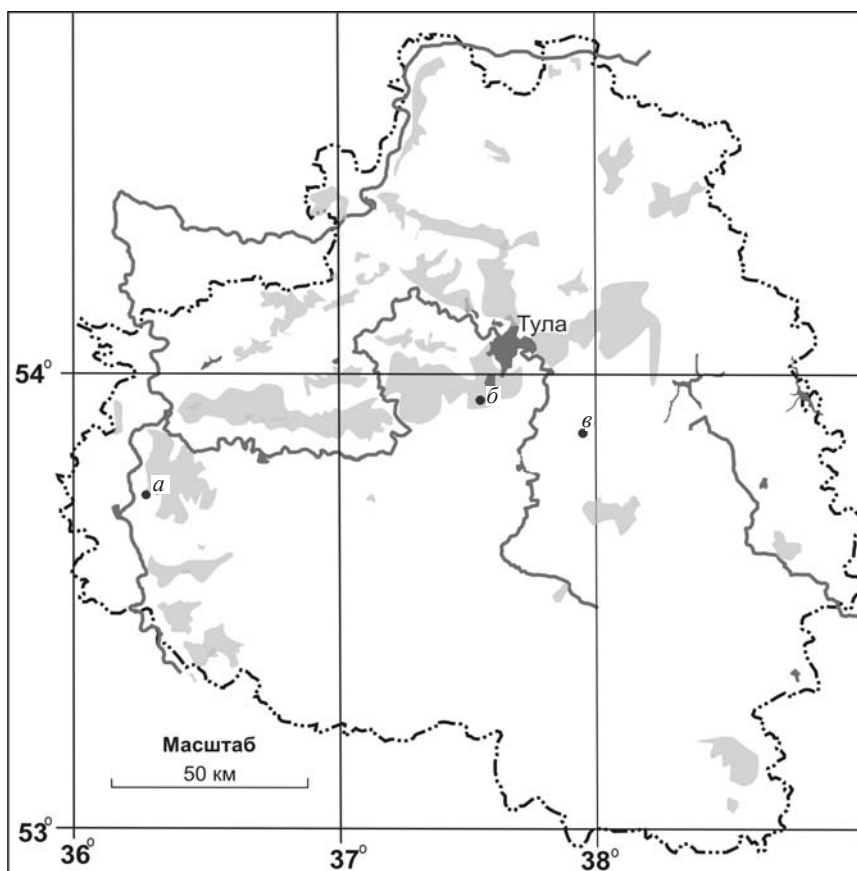


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования: а – болото Клюква; б – болото Кочаки; в – болото Быковка



Болото Кочки сформировано в глубоком (7–8 м) понижении, являющемся частью комплекса карстово-суффузионных болот д. Ясная Поляна, образование которых связано с неотектоническими процессами [13, 14]. Окружение – широколиственный лес, залежи. Болото занимает площадь 0,5 га и подстилается озерными глинами. Торфяная залежь состоит из придонной и сплавиной частей, которые разделены «линзой» воды. В центральной части сплавины сформированы мезотрофные (*Rhynchospora alba* – *Carex rostrate* – *Sphagnum angustifolium* и *Chamaedaphne calyculata* + *Oxycoccus palustris* – *Phragmites australis* – *Sphagnum magellanicum* + *S. angustifolium*) сообщества. В таких сообществах уровень болотных вод залегает близко к поверхности (УБВ = –15 см) и минерализация болотных вод низка – 32–40 мг/л.

Болото Быковка является частью крупного комплекса карстово-суффузионных болот (53 объекта), расположенного на границе широколиственных лесов и лесостепи [15]. Болото занимает площадь 0,2 га. Глубина торфяных отложений – около 9 м. Залежь подстилается озерными глинами. Растительность представлена мезоолиготрофным сообществом *Carex rostrata* + *C. lasiocarpa* – *Sphagnum fuscum* + *S. magellanicum* ценозом с участием *Oxycoccus palustris*, *Rhynchospora alba*, *Hammarbya paludosa* и *Carex limosa* (УБВ = –10 см от поверхности болота, минерализация вод – 48 мг/л).

На болотах проводили отбор образцов торфа в наиболее глубокой части при помощи торфяного бура. В образцах определяли степень разложения торфа (%) и состав растительных остатков [16]. На основании результатов ботанического анализа торфа [17] реконструировали этапы развития болот. Применение шкал Д. Н. Цыганова [18] и программы Ecoscale [19] позволило охарактеризовать экологические условия на разных этапах развития болот и проследить их динамику в процессе развития болотных экосистем. Экологическими параметрами оценки являлись: влажность биотопа (*HD*) (в том числе переменность увлажнения – *FH*), трофность (*TR*), богатство азотом (*NT*), кислотность (*RC*) и освещенность (*LC*). Для определения времени начала болотообразовательного процесса и «возраста» палеосообществ проводили определение абсолютного возраста торфяных образцов в Радиоуглеродной лаборатории Института географии РАН (Москва). Полученные датировки калибровали в программе CalPal. В образцах торфа определяли содержание химических элементов с использованием рентген-флюоресцентного

анализа (РФА) (Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН) на спектрометре S2 PICOFOX (производитель Bruker AXS, Германия). Результаты сравнивали с кларком в почве по каждому элементу [20–24] и ПДК [25], что позволило определить интенсивность аккумуляции элементов в торфяных залежах болот и охарактеризовать экологические условия региона в прошлом и настоящем.

Результаты и их обсуждение

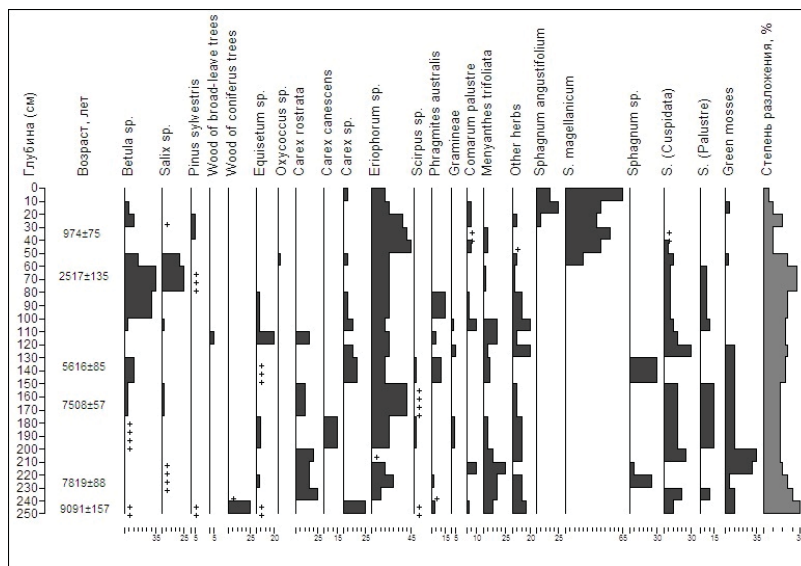
Проведенный ботанический анализ торфяных отложений модельных болот позволил выявить различия в их составе (рис. 2), что явилось основой для реконструкции экологических условий (таблица) и выявления причин разной интенсивности аккумуляции комплекса химических элементов в торфах (рис. 3).

Болото Клюква характеризуется переходным типом залежи, которая образована низинными, переходными и верховыми торфами (см. рис. 2, а). Это свидетельствует об изменении водно-минерального питания в процессе развития болота.

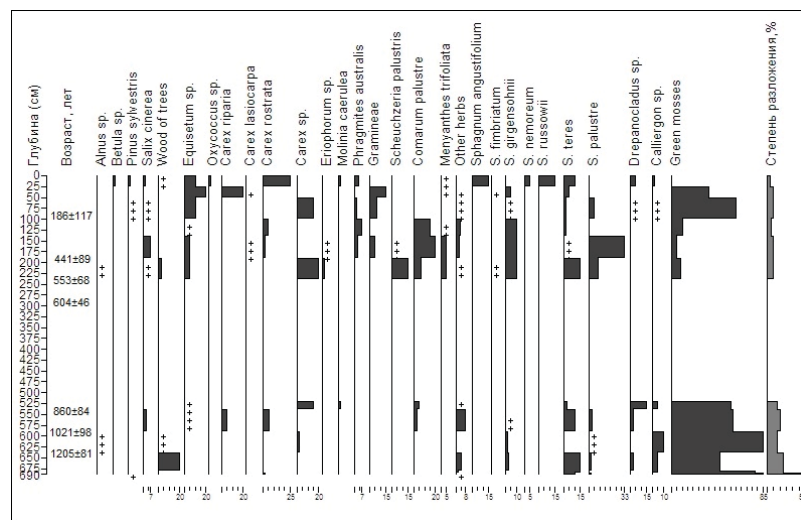
Реконструкция экологических условий показала изменчивость разных факторов (см. таблицу). Так, увлажнение болотного биотопа слабо менялось – параметр влажности имеет баллы 15,3–16,3, что позволяет относить палеосообщества к сыро-лесолуговой группе. При этом наибольшей влажностью характеризовались ранние этапы развития болота. Переменность увлажнения имеет сходную тенденцию изменчивости. Условия среды варьировали от кислых до слабокислых (*RC* = 4,5–6,1). Показатель освещенности характеризует болото как открытое и только на последнем этапе в результате поселения сосны значения несколько изменяются (*LC* = 3,2–3,9).

Наиболее значимыми факторами в развитии экосистемы являются показатели трофности субстрата, в особенности его обеспеченность азотом (см. таблицу). На начальных этапах развития условия характеризовались как гликомезофитные и геминитрофильные. По мере роста болота происходило обеднение питания (*TR* снижается с 5,7 до 4,4; *NT* – с 4,6 до 2,8), что обусловлено свойствами вод и состоянием окружающих ландшафтов [26].

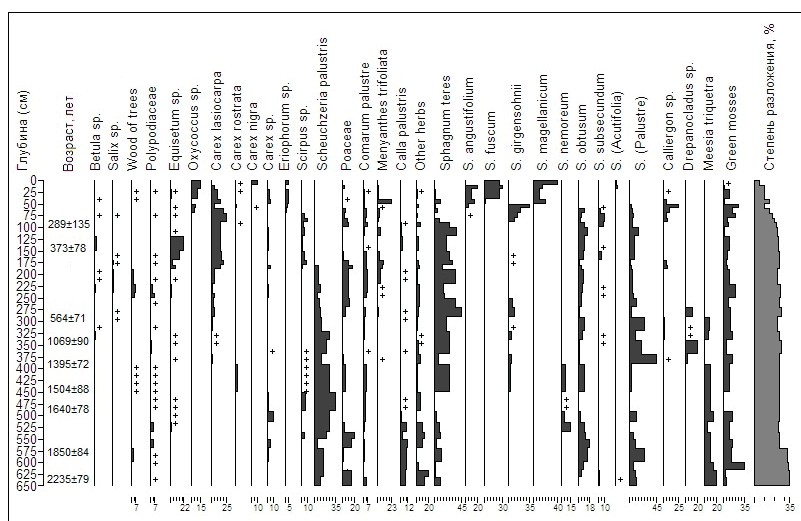
Динамика экологических параметров, наряду с результатами химического анализа и радиоуглеродного датирования торфов, позволила реконструировать этапы развития болота. Начало болотообразовательного процесса приурочено к бореальному периоду голоцена и, как показал



а



б



в

Рис. 2. Стратиграфические диаграммы торфяных отложений болот Клюква (а), Кочаки (б) и Быковка (в)



**Параметры экологических шкал для палеосообществ болот Клюква (а),
Кочаки (б) и Быковка (в)**

Глубина, см	Экологические шкалы					
	HD*	FH	TR	NT	RC	LC
0–10	15,4	3,0	4,5	3,5	5,3	3,9
10–20	15,4	3,2	4,4	3,5	4,5	3,5
20–30	15,3	3,8	4,4	4,1	5,3	3,6
30–40	15,8	2,8	4,4	3,4	5,1	3,3
40–50	16,2	2,8	4,4	2,8	4,5	3,2
50–60	15,6	3,6	4,1	3,8	5,4	3,4
60–80	15,5	3,6	4,4	4,1	5,7	3,4
80–100	15,4	5,0	5,4	5,1	6,1	3,6
100–110	15,8	4,8	5,2	4,9	6,1	3,6
110–120	15,9	4,8	5,3	4,5	5,7	3,5
120–130	16,1	3,3	4,5	3,2	4,5	3,6
130–150	16,0	4,4	5,8	5,1	5,8	3,5
150–175	15,9	3,9	4,9	4,1	4,9	3,8
175–200	15,9	3,8	5,0	4,2	5,4	3,7
200–210	16,2	3,3	4,5	3,2	4,5	3,5
210–220	16,3	3,8	4,6	3,5	4,7	3,6
220–230	15,9	4,9	5,3	4,6	5,8	3,5
230–240	15,9	4,5	5,1	3,9	5,4	3,6
240–250	15,6	4,7	5,7	4,6	5,9	3,5

а

Глубина, см	Экологические шкалы					
	HD	FH	TR	NT	RC	LC
0–25	15,6	4,7	5,1	4,5	6,2	3,7
25–50	16,2	4,7	5,6	4,8	7,0	3,9
50–100	15,4	5,6	5,7	5,2	6,8	3,8
100–150	15,9	5,1	5,7	4,6	5,8	3,5
150–200	16,1	4,8	5,2	4,2	5,3	3,1
200–250	16,3	4,0	4,8	4,1	5,5	3,6
Вода						
520–550	16,1	4,2	5,8	4,3	5,7	3,3
550–600	16,1	4,0	5,7	4,8	6,2	3,5
600–650	16,2	4,0	4,9	5,0	8,0	3,5
650–680	16,1	3,0	5,3	4,0	5,0	3,7
680–690	15,6	5,0	4,4	4,5	5,5	3,0

б

Глубина, см	Экологические шкалы					
	HD	FH	TR	NT	RC	LC
0–10	15,4	4,4	5,1	3,6	5,7	2,9
10–20	16,1	4,4	4,7	4,3	5,6	3,3
30–40	15,8	3,8	4,5	3,9	5,3	3,3
40–50	15,8	3,9	4,7	4,1	5,3	3,4
50–60	15,9	3,9	4,9	3,8	5,5	3,5
60–70	15,8	4,4	4,9	4,2	5,7	3,5
70–80	16,3	4,0	5,2	3,8	5,2	3,7
80–90	16,4	4,1	5,5	4,1	5,6	3,8
90–100	16,5	4,4	5,5	4,4	5,8	3,4
100–120	16,3	4,1	5,7	4,3	6,0	3,8
150–160	16,1	4,3	5,8	4,7	6,0	3,6
160–170	16,3	4,4	5,1	4,6	5,6	3,8
170–180	16,4	4,4	5,3	4,4	5,4	3,2
180–190	16,3	4,2	5,7	4,4	5,8	3,6
200–220	16,3	4,5	5,1	4,6	5,9	3,4
220–240	16,3	4,5	5,6	4,9	6,1	3,2
240–250	16,6	4,6	5,9	5,0	6,4	3,3
250–270	16,4	4,8	4,3	3,5	4,5	3,7
270–290	16,4	4,2	4,8	3,8	5,7	3,7
300–320	16,2	4,1	5,6	4,2	6,2	3,5
320–340	16,0	4,5	5,1	4,6	5,7	3,6
350–370	16,1	3,5	5,6	4,0	5,8	3,5
370–390	16,5	4,3	5,2	4,2	5,4	3,6
450–480	16,4	4,1	4,9	4,0	4,8	3,9
490–500	16,4	4,4	5,2	4,2	5,0	3,8
500–515	16,2	4,4	5,6	4,5	6,2	3,5
515–535	16,1	4,4	5,3	4,5	6,2	3,8
535–550	16,6	4,0	6,0	4,6	6,4	3,6
550–570	16,5	4,2	5,2	4,3	5,8	3,4
580–600	16,6	3,9	5,6	4,8	6,0	3,3
600–615	16,3	4,3	5,3	4,6	6,5	3,7
615–630	16,4	4,5	5,2	4,7	6,3	3,4
640–650	16,4	4,2	5,3	4,3	5,8	3,4

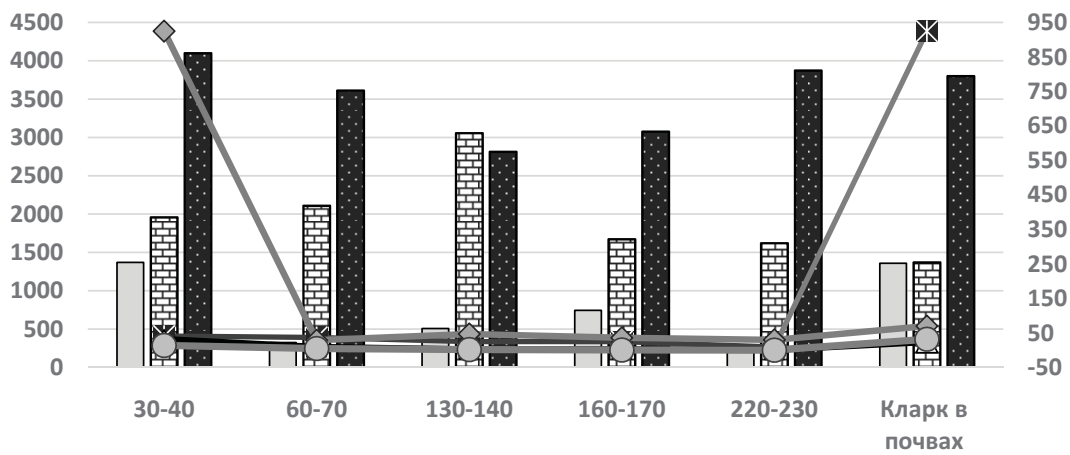
в

Примечание. *Обозначения шкал см. в тексте.

палинологический анализ [27], в начале своего развития болото было окружено разреженным сосново-березовым лесом. Интенсивный поверхностный сток, наряду с грунтовым питанием, способствовали увеличению влажности и привнесу минеральных веществ в понижение, что определило поселение эвтрофных трав (*Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, *Phragmites australis*, *Carex* sp.), зеленых (гипновых) и сфагновых мхов. Однако бедность питающих вод и подстилающих песков является причиной низкого содержания в низинных торфах калия (198 мг/кг), марганца (9 мг/кг), цинка (30 мг/кг), свинца (0,1 мг/кг) и меди (1 мг/кг) (см. рис. 3, а). Высокие показатели характерны для железа (3,8 г/кг) и кальция (1,6 г/кг) (см. рис. 3, а). Условия среды были слабокислыми, а увлажнение благо-

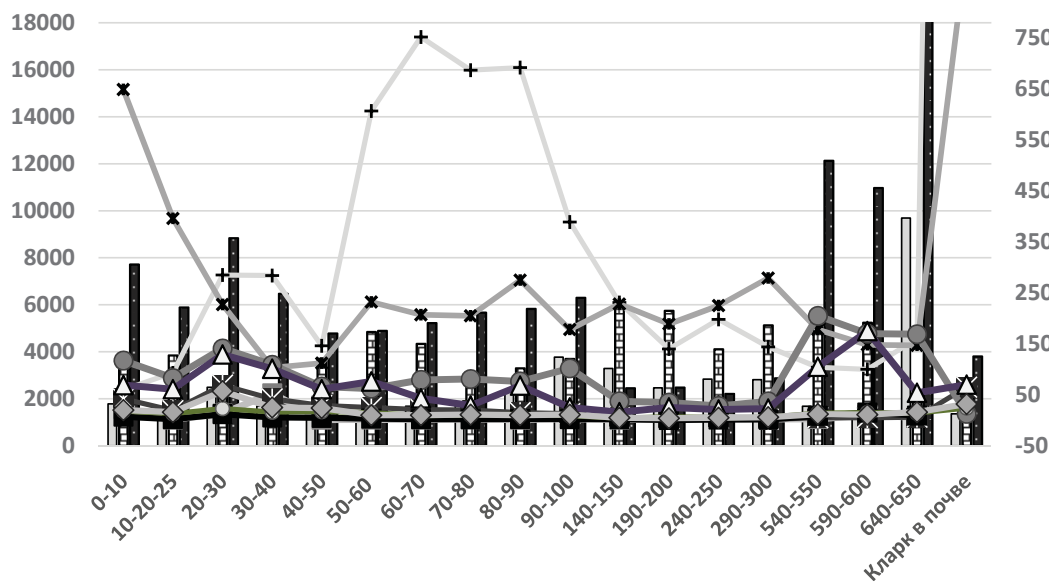
даря подстилающим пескам – слабо переменным. Возможность дренажа и периодическое подсыхание обеспечили активное разложение отмерших растительных остатков ($R = 20–35\%$) и низкую скорость его прироста (0,9 мм/год).

В начале атлантического периода в понижении увеличилась влажность в результате накопления поверхностных вод и сформировались травяно-зеленомошные ценозы с *Menyanthes trifoliata*, *Carex rostrata*, *Calliergon cordifolium* и *Calliergonella cuspidata*. Растительные остатки при высокой влажности торфа (увлажнение устойчивое) разлагались медленнее, что привело к снижению степени разложения торфа и увеличению скорости его прироста (до 1,9 мм/год). Это способствовало частичному переходу на атмосферное питание, формированию



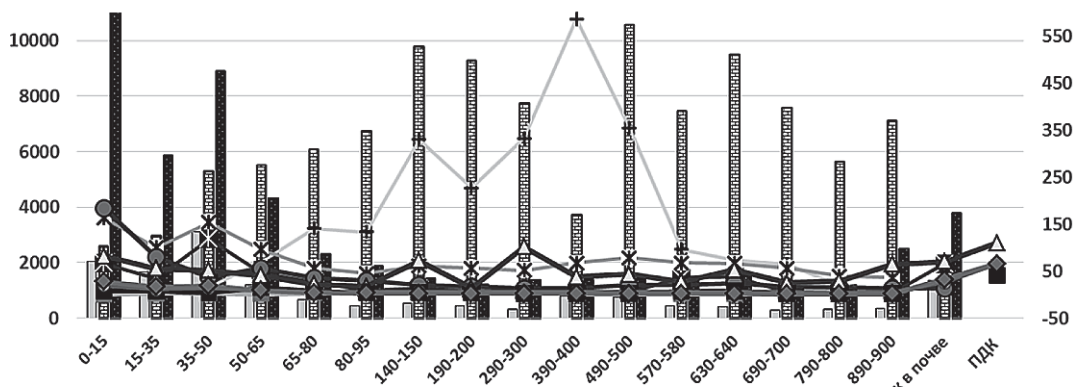
— K — Ca — Fe — Mn — Cu — Zn — Pb

а



— K — Ca — Fe — Mg — Al — Cr — Mn — Co — Ni — Cu — Zn — Pb

б



— K — Ca — Fe — Mg — Al — Cr — Mn — Co — Ni — Cu — Zn — Pb

в

Рис. 3. Содержание химических элементов по профилям торфяных залежей болот Клюква (а), Кочаки (б), Быковка (в), мг/кг воздушно-сухой массы



мезотрофной растительности с *Eriophorum* sp. и образованию переходных торфов. Обеднение питания отражается в снижении показателей трофности и содержания азота (см. таблицу). Это коррелирует с незначительным снижением содержания железа в торфах этого периода. Показатели содержания кальция практически не изменяются. Однако значения других элементов увеличиваются: калия – в 3,7 раз, марганца – в 3 раза, цинка – в 1,2 раза, меди – в 2 раза, свинца – в 5 раз (см. рис. 3, а).

В конце атлантического – начале суббореального периода на окружающих землях отмечено поселение человека [28]. Его жизнедеятельность приводит к усилению эрозии почв и увеличению трофности стекающих вод (показатели *TR* и *NT* возрастают на глубине 130–150 см (см. таблицу). В торфяной залежи это отражает увеличение содержания кальция на этой глубине (до 3 г/кг) и формирование менее кислой среды. Содержание калия и железа снижается (рис. 3, а). Увлажнение на болоте в это время из устойчивого меняется на слабопеременное. Аэрация обеспечивает активное разложение растительных остатков и снижает скорость вертикального прироста торфа (до 0,2 мм/год). В таких условиях на болото внедряются древесные породы (см. рис. 2, а).

В субатлантическом периоде режим увлажнения на болоте восстанавливается. Прирост торфа способствует переходу на использование атмосферного питания и увеличению обилия сфагновых мхов (*Sphagnum magellanicum*) (см. рис. 2, а). В торфах снижается степень разложения растительных остатков (10–20%). Олиготрофизация растительного покрова сопровождается снижением содержания в торфе калия (до 326 мг/кг), кальция (до 2 г/кг) и цинка.

Формирование верховых торфов и олиготрофной палеорастительности произошло менее 1000 лет назад. Реконструкция экологических условий подтверждает обеднение водно-минерального питания (см. таблицу) и продолжающееся снижение содержания кальция (1,9 г/кг, см. рис. 3, а).

Однако на глубине 30–40 см резко увеличиваются показатели по содержанию свинца (14 мг/кг), меди (32 мг/кг) и отмечается высокое содержание цинка (925 мг/кг) – токсиканта техногенного происхождения. Полученные результаты свидетельствуют о воздушном переносе этих элементов. Показатели по калию (1,3 г/кг) являются следствием применения удобрений на прилегающих полях. Глубина, на которой происходит аккумуляция элементов, обусловлена просачиванием атмосферных осадков и поверхностных стоков до

уровня залегания болотных вод. Таким образом, увеличение содержания указанных элементов в верхнем горизонте торфяной залежи свидетельствует о развитии промышленности и сельского хозяйства в последнее тысячелетие.

Анализируя распределение элементов по профилю торфяной залежи, отмечено увеличение содержания в торфах калия, марганца, цинка, свинца, меди, а также железа в верховом торфе. При этом превышение кларка показано для цинка, меди и железа [23], ПДК – только для цинка (в 8,4 раза) [25]. Не выявлено четкой тенденции в изменении показателей по кальцию (см. рис. 3, а). Превышение кларка этого элемента показано на глубине 130–140 см [20].

В целом в распределении элементов по профилю торфяной залежи болота Клюква, можно выделить «природный фон» региона, обусловленный свойствами подстилающих пород, грунтовым или поверхностным стоком, который отражает содержание элементов в низинных торфах. Переходные торфа формируются в мезотрофных условиях, где возрастает доля атмосферного питания, приводящего к «разбавлению» природного фона. Верховые торфа, формирующиеся при атмосферном питании болота, отражают «антропогенный фон».

Проведенное сравнение аккумуляции химических элементов в низинных и верховых торфах свидетельствует об «антропогенном загрязнении» приокского региона Тульской области свинцом (в верхних горизонтах торфяной залежи превышение в 140 раз по сравнению с так называемым «природным фоном»), медью (в 32 раза), цинком (в 30 раз) и марганцем (в 3,5 раза). Показатели содержания железа не имеют существенных различий между «природным» и «антропогенным» фоном. При этом данные превышают кларк элемента в почве и в 2 раза выше значений для торфов Западной Сибири [23, 29], что свидетельствует о возможном переносе элемента атмосферными массами от металлургических предприятий региона.

Болото Кочаки имеет «разорванную» торфяную залежь (см. рис. 2, б), состоящую из придонной (520–690 см) и сплавинной (0–250 см) частей, в составе которых преобладают низинные виды торфа. В верхнем слое (0–25 см) сплавина образована осоково-сфагновым переходным торфом (см. рис. 2, б).

Доминирование в структуре торфяной залежи гипнового торфа характеризует стабильность условий в процессе развития болота, что подтверждают значения параметров экологических шкал (см. таблицу). Как видно, увлажнение



менялось незначительно ($HD = 15,6-16,2$), при этом наиболее низкие показатели отмечены на начальных этапах развития, когда началось зарастание зелеными мхами небольшого «озерка-лужи» на дне понижения. Характер увлажнения менялся от относительно устойчивого до слабопеременного ($FH = 4,0-5,6$). Показатели трофности ($TR = 4,4-5,8$) позволяют относить палеосообщества к глико-субмезотрофной – глико-мезотрофной группам. По богатству субстрата азотом существенных изменений в процессе развития болота не выявлено ($NT = 4,0-5,2$). Освещенность ($LC = 3,0-3,9$) также оставалась стабильной, наибольшая освещенность характерна для сфагновых и гипновых палеосообществ. Показатель кислотности имеет более широкие границы варьирования – от 5,3 до 8,0. В процессе развития болота доминировали сообщества мезоацидофильной группы ($pH = 4,5-5,5$), однако в гипновых ценозах условия были менее кислыми (субацидофильная группа).

Анализ динамики экологических показателей позволил провести реконструкцию генезиса болота и выделить несколько этапов. Наличие на дне понижения озерных отложений свидетельствует о продолжительном застойном увлажнении. Постепенное обмеление озера около 1200 лет назад способствовало началу заболачивания и формированию на дне понижения сообщества зеленых (гипновых) мхов (*Drepanocladus* sp., *Calliergon cordifolium*) (см. рис. 2, б). Увлажнение обеспечило слабое разложение растительных остатков и, как следствие, активный (до 2,5 мм/год) вертикальный прирост болота. Трофность вод способствовала накоплению в торфе калия (9,7 г/кг) и железа (18 г/кг) – в придонном слое (640–650 см) эти элементы имеют максимальные показатели в залежи болота (см. рис. 3, б). Высокое содержание характерно для алюминия (160 мг/кг), марганца (147 мг/кг) и кобальта (169 мг/кг).

Продолжающееся накопление влаги способствовало увеличению (до 3,3 мм/год) скорости торфообразовательного процесса. При этом в торфяных отложениях происходит накопление кальция (5,2 г/кг), цинка (175 мг/кг), кобальта (205 мг/кг) и меди (15 мг/кг). Содержание железа продолжает оставаться высоким (12 г/кг). Следует отметить, что в целом придонные слои торфа (540–650 см) отличаются по накоплению элементов от расположенных выше (см. рис. 3, б), что следует объяснять высокой минерализацией выклинивающихся грунтовых вод.

Примерно 550–600 лет назад обводнение понижения резко увеличилось, что связано с

климатическими изменениями [26]. Это способствовало отрыву верхней части торфяной залежи, которая образовала сплавину. Некоторое обеднение питания вследствие стока в понижение поверхностных и атмосферных вод обеспечило доминирование сфагновых мхов (*Sphagnum girgensohnii*, *S. teres*, *S. fimbriatum*), а высокая влажность сплавины – слабое разложение отмерших растительных остатков и интенсивный (5–8 мм/год) прирост торфа. Такое изменение водно-минерального питания привело к снижению аккумуляции в торфе железа (2,2 г/кг), цинка (21 мг/кг), кобальта (28 мг/кг), меди (5 мг/кг), свинца (4–5 мг/кг), хрома (2–3 мг/кг) и никеля (0,6–1,5 мг/кг). Содержание калия, кальция, алюминия и марганца существенно не изменилось (см. рис. 3, б). Такими свойствами характеризуется травяно-сфагновый и сфагновый торфа, формирующие «основу» сплавины.

На глубине 90–100 см в залежи начинается формирование «прослойки» гипнового торфа, что обусловлено увеличением трофности (см. таблицу) стекающих вод и является следствием усиления эрозионного смыва с прилегающих территорий. Причиной этого могла быть интенсивная рубка широколиственных лесов 200 лет назад [30] и промышленное освоение территории. Усиление поверхностного стока обеспечило принос минеральных элементов, которые аккумуляровались в торфе. Это коррелирует с увеличением на этой глубине содержания железа (до 6,3 г/кг), а также алюминия (389 мг/кг), кобальта (102 мг/кг), хрома (13 мг/кг) и свинца (11 мг/кг).

В ходе продолжающегося прироста торфа происходило накопление элементов в верхнем метровом слое сплавины. При этом интенсивность аккумуляции калия и кальция практически не изменилась. На глубине 20–40 см в торфяной залежи увеличивается содержание железа до 8,8 г/кг, магния – до 52,3 мг/кг, цинка – до 129 мг/кг, хрома – до 69 мг/кг, свинца – до 57 мг/кг, меди – до 23 мг/кг (см. рис. 3, б). Такие изменения произошли 40–50 лет назад и связаны с активным развитием промышленности региона.

Постепенное зарастание прилегающих к болоту с/х полей и формирование залежей способствовало снижению трофности стекающих поверхностных вод, что привело к частичному переходу на использование атмосферного питания и формирование мезотрофной растительности (см. рис. 2, б). Это произошло 20–30 лет назад, что диагностирует осоково-сфагновый переходный торф (R – менее 5%) с участием *Oxycoccus palustris*, *Carex rostrata*, *Sphagnum angustifolium*, *S. teresi* др.



Уменьшение доли минерализованных поверхностных/грунтовых вод в питании болота отражает снижение содержания калия (1,5–1,7 г/кг), кальция (3,7–3,8 г/кг), алюминия (60–93 мг/кг) и цинка (61–69 мг/кг) в переходном торфе (0–25 см). Кроме того, в торфе происходит накопление веществ, приносимых атмосферными осадками, что показано для Fe (7,7 г/кг) и марганца (649 мг/кг). Существенного изменения не претерпели показатели свинца, хрома, кобальта, никеля и меди (см. рис. 3, б).

Таким образом, болото, возникшее в середине субатлантического периода голоцена, продолжительное время находилось в эвтрофной стадии развития, что отражает наличие в залежи низинных торфов. Это является следствием накопления большого количества минерализованных поверхностных и грунтовых вод. Интенсивное обводнение способствовало активному вертикальному росту болота и обеспечило формирование разорванной торфяной залежи.

В процессе развития болота в торфе происходила аккумуляция веществ и элементов. В придонном гипновом слое торфа накапливаются элементы, приносимые выклинившимися грунтовыми водами. Поступление поверхностных вод коррелирует со снижением содержания большинства элементов, однако при стабилизации водного режима и формировании сплавины показатели восстанавливаются. В поверхностных горизонтах торфяной залежи в переходном торфе отмечено снижение содержания ряда элементов.

В целом по профилю залежи содержание элементов имеет разную тенденцию изменчивости. Достоверное увеличение значений отмечено для марганца: содержание элемента увеличивается от 147 мг/кг в придонных образцах до 649 мг/кг в поверхностном горизонте. Такие значения не превышают ПДК [25] и кларк для почв [23], но диагностируют влияние расположенного на расстоянии менее 10 км Косогорского металлургического комбината [11].

Сравнение придонных (540–650 см) и поверхностных (0–10 см) горизонтов торфяных отложений показало снижение содержания железа. Высокое содержание этого элемента связано с особенностями грунтовых вод региона [13] и диагностирует доминирование этих вод в питании болота. Важно отметить, что в низинных торфах показатели могут достигать более высоких значений [29]. Тем не менее превышение кларка по железу [23] отмечено как в придонных образцах, так и в метровом слое сплавины. Увеличение показателя в поверхностных образцах, использующих преимущественно атмосферные

осадки, свидетельствует о возможности «антропогенного заноса».

Содержание кальция и калия не имеет четкой тенденции изменчивости. Важно отметить максимальное содержание калия (9,7 г/кг) на глубине 640–650 см, что связано с наличием глинистых частиц, богатых этим элементом [31]. Превышение кларка на этой глубине отмечено в 7 раз, в остальных образцах превышение не более 2 раз [23]. По кальцию во всех образцах отмечено превышение кларка для почв, максимальное – в 4 раза – характерно для глубины 140–150 см [20].

Для цинка, кобальта, свинца, никеля и меди отмечено 2 пика: 540–650 см и 20–40(50) см. В этих горизонтах залежи залегает гипновый низинный торф, формирующийся при питании минерализованными водами, что свидетельствует о приносе этих элементов грунтовыми или поверхностным стоком. При этом максимальное содержание этих элементов, а также хрома и магния, выявлено на глубине 20–40 см. Образование этих торфов произошло 40–50 лет назад, что соответствует периоду активного развития промышленности, когда шло строительство химических, металлургических предприятий, автодорог. В поверхностном переходном торфе содержание указанных элементов снизилось. Содержание алюминия достигает максимальных значений на глубине 50–90 см.

В целом содержание цинка по профилю залежи превышает средние значения для торфов, а также отмечено превышение кларка и ПДК на глубинах 550–600 и 20–40 см [23–25]. Содержание кобальта превышает известные нормативы, но максимальные значения характерны для придонных образцов и на глубине 20–40 см [23, 25]. По свинцу, никелю и меди превышения ПДК и кларка отсутствуют, однако показатели свинца и меди выше, чем средние значения для торфов СССР [22–24]. По хрому превышение кларка показано для глубины 20–30 см, а ПДК – для метровой толщи сплавины [23]. При этом превышение «природного фона» (на основании сравнения с придонными образцами) показано для хрома и магния. Содержание марганца в верхних горизонтах в 2–3 раза выше «фоновых» значений, что свидетельствует о техногенном характере накопления элемента.

Болото Быковка образовалось более 2,2 тыс. лет назад. Торфяная залежь имеет глубину более 9 м и образована преимущественно низинными торфами (см. рис. 2, в). На глубине 40–50 см в залежи формируется травяно-сфагновый переходный торф. Верхние горизонты торфяной залежи (0–40 см) представлены сфагновым верховым



торфом. Структура торфяной залежи отражает стабильность условий в генезисе болота. Однако залегание в верхних горизонтах переходного и верхового торфов диагностирует переход на обедненное атмосферное питание.

Оценка экологических условий (см. таблицу) показала, что в целом параметры биотопа в процессе развития болота Быковка менялись незначительно. Увлажнение болота было стабильным ($HD = 15,8-16,6$; $FH = 3,8-5,0$). Небольшое снижение влажности ($HD = 15,4$) отмечено в верхнем 10-см горизонте верхового торфа. Показатели трофности варьируют от 4,5 до 6,0, что позволяет отнести рассматриваемые палеосообщества к гликомезотрофной группе. Увеличение трофности отмечено в травяных и травяно-сфагновых палеосообществах. Обеспеченность азотом имеет сходную тенденцию изменчивости. В процессе развития болота условия среды сохранялись кислыми ($RC = 4,5-6,4$, что соответствует $pH = 4,5-5,5$), однако в торфах с доминированием травянистых остатков имеет место тенденция повышения pH . Освещенность на болоте соответствовала полуоткрытым пространствам ($LC = 3,5-3,9$), что коррелирует с отсутствием в залежи древесных торфов. Стабильность условий способствовала длительному существованию эвтрофных палеосообществ, образовавших низинные виды торфа. Детальный анализ их ботанического состава, наряду с наличием переходных и верховых торфов, позволили выделить в генезисе болота несколько этапов.

Первым этапом является озерная стадия, о чем свидетельствует наличие озерных отложений на дне понижения. Однако около 3 тыс. лет назад озеро обмелело (это может быть связано со снижением уровня грунтовых вод в регионе), что обеспечило произрастание древесных пород (ивы). На этом этапе болото использовало в питании грунтовые воды, богатые кальцием, что привело к накоплению этого элемента в придонных слоях торфа (7,1 г/кг). Содержание железа в образцах не превышает 2,5 г/кг, калия – 355 мг/кг. Следует отметить относительно высокое содержание цинка на глубине 890–900 см (64 мг/кг). Остальные элементы имеют наиболее низкие показатели в этом горизонте залежи (см. рис. 3, в).

Дальнейшее накопление влаги в понижении привело к выпадению древесных пород и доминированию трав (*Calamagrostis* sp., *Scheuchzeria palustris*, *Comarum palustre*, *Calla palustre*) и гипновых мхов (*Meesia triquetra*). В питающих грунтовых водах содержание кальция постепенно увеличилось до 9,5 г/кг, а железа – снизилось до 1,1–1,6 г/кг. При этом на глубине 630–640 см в

торфе увеличиваются показатели по алюминию (73 мг/кг), магнию (66 мг/кг), хрому (38 мг/кг), кобальту (24 мг/кг) и никелю (8,1 мг/кг). При таком водно-минеральном питании образовались травяной и травяно-гипновый торфа (см. рис. 2, в).

Около 1,5 тыс. лет назад в торфе резко увеличивается содержание кальция (10,6 г/кг), калия (762–796 мг/к) и алюминия (355–587 мг/кг). Такое изменение минерализации вод (см. таблицу) может быть связано с усилением грунтового питания, что способствовало обводнению болота в этот период и его интенсивному (2,8–4,3 мм/год) вертикальному приросту.

Согласно значениям экологических параметров (см. таблицу), 550 лет назад трофность вод снизилась, что привело к увеличению обилия сфагновых мхов (*Sphagnum teres*, *S. subsecundum*, *S. obtusum*) в составе палеосообществ и образованию сфагнового торфа на глубине 250–290 см (см. рис. 2, в). В торфе снижение трофности питающих вод проявляется в уменьшении содержания калия (303–429 мг/кг) и алюминия (227–333 мг/кг). Содержание кальция варьирует в пределах 3,7–9,2 г/кг, железа – 1,2–1,4 г/кг. Такие условия сохранялись в течение последующих 200 лет.

Период активного освоения человеком прилегающих земель начался примерно 300 лет назад. Высокое увлажнение и интенсивный (до 7 мм/год) прирост торфа, обусловленные увеличением влажности климата в этот период [26], способствуют частичному переходу на атмосферное питание, что приводит к формированию мезотрофных сообществ и образованию на глубине 40–50 см травяно-сфагнового переходного торфа с участием *Oxycoccus palustris*, *Eriophorum* sp., *Sphagnum angustifolium*. Верхний горизонт залежи (0–40 см) представлен верховым торфом, в котором доминируют остатки *Sphagnum magellanicum* и *S. fuscum* (см. рис. 2, в). Такое изменение водно-минерального питания коррелирует со снижением содержания в торфе кальция – с 5,3 до 2,5 г/кг, а также алюминия и магния (см. рис. 3, в).

С глубины 65–80 см, несмотря на изменение типа водно-минерального питания и характера растительности, наблюдается увеличение содержания в торфе калия (до 1,6–2,0 г/кг), железа (до 11,2 г/кг), марганца (164 мг/кг), цинка (82 мг/кг) и меди (18 мг/кг). Максимальных значений указанные элементы достигают в поверхностных образцах торфа. Подобные изменения являются следствием интенсивного антропогенного воздействия, начавшегося 200 лет назад, и переноса поллютантов воздушными массами [3–5, 32]. Причиной «калийного загрязнения»



является применение минеральных удобрений на окружающих болота с/х полях в течение длительного времени.

Оценка накопления химических элементов по профилю залежи болота Быковка свидетельствует о превышении кларка по содержанию кальция (особенно в низинных торфах, в 4–7 раз); калия (в 1,5–2 раза), железа (в 2–3 раза) и хрома (в 1,8 раз) в верхнем (0–50 см) горизонте [20, 23, 24]. Превышения ПДК отмечены по хрому (в 5–20 раз в слое 0–80 см) и кобальту (по всему профилю, но особенно в слое 0–15 см – в 36 раз) [25]. Сравнение с «природным фоном» показало, что в результате антропогенной нагрузки превышение «фонового» содержания в 2–4 раза характерно для калия, марганца, цинка, никеля и меди; в 5–10 раз – для хрома, железа, кобальта и свинца.

Заключение

Комплексный сравнительный анализ водораздельных карстово-суффозионных болот, развивающихся в разных геолого-гидрологических условиях Тульской области, позволил выявить отличия в генезисе, скорости торфонакопления, структуре торфяных залежей и интенсивности аккумуляции химических элементов.

Основной причиной различий является тип подстилающих пород, влияющий на обводненность понижений. Так, флювиогляциальные пески обеспечивали отсутствие застойного увлажнения в процессе развития болота Клюква, аэрацию торфа, активное разложение растительных остатков и, как следствие, низкую скорость торфообразовательного процесса. Наличие озерной стадии в генезисе карстово-суффозионных провалов способствовало формированию на дне глинистых и суглинистых отложений, что определило накопление грунтовых и поверхностных вод. Обильное увлажнение обеспечило низкую скорость разложения и интенсивный вертикальный прирост болот Кочаки и Быковка.

Не менее важной причиной является минерализация питающих вод, что влияет на особенности видового состава палеосообществ. Такие воды могут быть как грунтовыми, так и поверхностными. Грунтовые воды обычно характеризуются более высокой минерализацией, но их солевой состав зависит от водоносного горизонта [13, 33, 34]. Трофность поверхностных вод определяется свойствами окружающих ландшафтов и, в первую очередь, почвенного покрова.

Доминирование в питании вод разного генезиса определяет характер динамики болотной растительности и свойства торфа. Например, бедный минеральный состав грунтовых и по-

верхностных вод, питающих болото Клюква, является причиной быстрого перехода в мезо- и олиготрофную стадии развития. Напротив, высокая минерализация грунтовых вод, выклинивающихся в болота Кочаки и Быковка, наряду с эрозийными процессами, обеспечили формирование продолжительной эвтрофной стадии. Однако принадлежность грунтовых вод к разным водоносным горизонтам [33, 34] является причиной разной минерализации питающих вод, что объясняет различия в видовом составе палеосообществ и проявляется в доминировании разных видов торфа (гипновый – болото Кочаки, травяно-сфагновый – болото Быковка) в залежах.

Различия в минерализации питающих вод отчетливо проявляются в аккумуляции химических элементов торфами. Наиболее бедное водно-минеральное питание болота Клюква является причиной низкого содержания всех анализируемых элементов в торфяной залежи. Сравнение полученных данных с таковыми по олиготрофным болотам Норвегии [32], несмотря на сходную тенденцию увеличения показаний по профилю залежи, свидетельствует о низком содержании в торфах кальция, магния, хрома, кобальта, никеля и меди. Показатели калия и цинка (за исключением верхнего горизонта) сходны с европейскими данными. Содержание железа в 2–3 раза выше, что объясняется региональными особенностями.

Высокая минерализация вод болот Кочаки и Быковка обеспечила интенсивное накопление элементов в низинных торфах (по сравнению с предыдущим объектом большинство показателей увеличивается в 3–5 и более раз). Эвтрофный характер палеорастительности определяется, прежде всего, высоким содержанием кальция и алюминия. Полученные результаты коррелируют с данными по торфам пойменных болот [35]. Однако содержание марганца, хрома, никеля и меди значительно ниже в исследуемых водораздельных болотах.

Принадлежность к разным водоносным горизонтам выклинивающихся грунтовых вод болот Кочаки и Быковка проявляется в разной аккумуляции в торфяных отложениях калия, железа, магния, цинка, марганца, кобальта и хрома.

Следует отметить, что динамика накопления элементов определяется также состоянием окружающих ландшафтов и деятельностью человека – освоение территории усиливает эрозию почвенного покрова и поверхностный сток в болото, чем объясняется увеличение некоторых показателей.

Обладая высокими аккумуляционными свойствами, болота являются индикаторами антропо-



генного воздействия на окружающие ландшафты, как в прошлые эпохи, так и в настоящем. Для оценки промышленного загрязнения региона обычно используют верховые торфа, формирующиеся при атмосферном питании и накапливающие вещества, переносимые воздушными массами. В исследуемых нами болотах переход к олиготрофной растительности и образование верховых торфов произошло в разное время: на болоте Клюква этот процесс начался около 1000 лет назад, на болоте Быковка – менее 100 лет назад, а на болоте Кочаки находится в начальной стадии формирования. Несмотря на это, содержание элементов в поверхностных горизонтах залежи позволяет оценить экологическое состояние региона.

Проведенное сравнение содержания элементов в поверхностных горизонтах торфяных залежей болот с имеющимися ПДК показало, что для приокской части Тульской области (болото Клюква) характерно загрязнение цинком. В центральной части области, где сосредоточен комплекс предприятий (болота Кочаки и Быковка), превышения ПДК отмечены для хрома и кобальта, что может быть связано с атмосферным переносом от металлургических предприятий региона.

Наиболее достоверно «антропогенный» характер загрязнений можно установить, сравнив значения поверхностных образцов с «природным» фоном. Таковым является содержание элементов в низинных торфах, поскольку они формируются при питании болота минерализованными грунтовыми или поверхностными водами, что отражает естественный фон эдафических факторов. Проведенный анализ показал превышение «природного» фона по следующим элементам:

– приокская часть: свинец, медь, никель, цинк, марганец, калий (превышения по кальцию и железу незначительны);

– центральная часть: хром, магний, марганец (Кочаки); калий, марганец, цинк, никель, медь, хром, железо, кобальт, свинец (Быковка).

Выявленные превышения являются следствием атмосферного переноса или поверхностного стока, что свидетельствует об интенсивной антропогенной нагрузке на ландшафты лесной части Тульской области, связанные с развитием промышленности и сельского хозяйства. Применение данного подхода, наряду с использованием ПДК и показателей кларков элементов, позволяет детально охарактеризовать экологическое состояние регионов на локальном уровне.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 15-45-03252 р_центр_а).

Список литературы

1. *Glooschenko W. A., Holloway L., Arafat N.* The use of mires in monitoring the atmospheric deposition of heavy metals // *Aquat. Bot.* 1986. Vol. 25. P. 179–190.
2. *Shotyk W.* Peat bog archives of atmospheric metal deposition: Geochemical evaluation of peat profiles, natural variations in metal concentrations, and metal enrichment factors // *Environ. Rev.* 1996. Vol. 4. P. 149–183.
3. *Steinnes E.* Trace element profiles in ombrogenous peat cores from Norway : evidence of long range atmospheric transport // *Water, Air and Soil Pollution.* 1997. № 100. P. 405–413.
4. *Steinnes E.* Metal contamination of the natural environment in Norway from long range atmospheric transport // *Water, Air and Soil Pollution. Focus.* 2001. Vol. 1. P. 449–460.
5. *Steinnes E., Hvatum O., Bolviken B., Varskog P.* Atmospheric Supply of Trace Elements Studied by Peat Samples from Ombrotrophic Bogs // *J. of Envir. Qual.* 2005. № 34. P. 192–197.
6. *Пьявченко Н. И.* Торфяники Русской лесостепи. М., 1958. 191 с.
7. *Лиштван И. И., Король Н. Т.* Основные свойства торфа и методы их определения. Минск, 1975. 319 с.
8. *Masing V.* Mire typology of the Estonian S.S.R. // *Some Aspects of Botanical Research in the Estonian S. S. R.* Tartu, 1975. P. 123–133.
9. *Malawska M., Ekonomiuk A., Wilkomirski B.* Chemical characteristics of some peatlands in southern Poland // *Mires and Peat.* 2006. Vol. 1. Art. 02. URL: <http://www.mires-and-peat.net> (дата обращения: 13.03.2016).
10. *Peatlands : Evolution and Records of Environmental and Climate Changes / eds. I. P. Martini, A. M. Cortizas, W. Chesworth.* Oxford, UK, 2006. 586 p.
11. Доклад об экологической ситуации в Тульской области за 2014 год / Министерство природных ресурсов и экологии Тульской области. Тула, 2015. 114 с. URL: <http://ekolog.tularegion.ru/sector/analitika/> (дата обращения: 13.03.2016).
12. *Волкова Е. М.* Редкие болота северо-востока Среднерусской возвышенности : растительность и генезис // *Бот. журн.* 2011. Т. 96, № 12. С. 1575–1590.
13. *Дымов В. С., Сычев А. И., Гуркин В. В.* Недр Тульской области. Тула, 2000. 124 с.
14. *Волкова Е. М., Бурдыкина Е. С.* Возникновение, развитие и современное состояние карстовых болот у д. Кочаки (Щекинский район, Тульская область) // *Природа Тульской области : сб. науч. тр. Вып. 1.* Тула, 2006. С. 88–105.
15. *Вислогозова Д. В., Волкова Е. М., Бурова О. В.* Роль карстовых болот в сохранении биологического разнообразия на границе леса и степи (на примере болот у д. Быковка, Киреевский район) // *Проблемы изучения и восстановления ландшафтов лесостепной зоны : сб. науч. ст. / под ред. О. В. Буровой, Е. М. Волковой.* Вып. 1. Тула, 2010. С. 89–93.
16. Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе / под ред. С. Н. Тюремнова. М. ; Л., 1959. 230 с.



17. Кутенков С. А. Компьютерная программа для построения стратиграфических диаграмм состава торфа «Когри» // Тр. КарНЦ РАН. № 6. Сер. Экологические исследования. Петрозаводск, 2013. С. 171–176.
18. Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М., 1983. 197 с.
19. Бузук Г. Н., Созинов О. В. Регрессионный анализ в фитоиндикации (на примере экологических шкал Д. Н. Цыганова) // Ботаника. Вып. 37. Минск, 2009. С. 356–362.
20. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов : справочник : в 6 кн. / под ред. Э. К. Буренкова. М., 1994. Кн. 1. S-элементы. 304 с.
21. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов : справочник : в 6 кн. / под ред. Э. К. Буренкова. М., 1994. Кн. 2. Главные p-элементы. 303 с.
22. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов : справочник : в 6 кн. / под ред. Э. К. Буренкова. М., 1996. Кн. 3. Редкие r-элементы. 352 с.
23. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов : справочник : в 6 кн. / под ред. Э. К. Буренкова. М., 1995. Кн. 4. Главные d-элементы. 416 с.
24. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов : справочник : в 6 кн. / под ред. Э. К. Буренкова. М., 1997. Кн. 5. Редкие d-элементы. 576 с.
25. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве : Гигиенические нормативы / Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. М., 2006. 15 с.
26. Новенко Е. Ю., Цыганов А. Н., Волкова Е. М., Бабешко К. В., Лаврентьев Н. В., Мазей Ю. А. Изменения растительности и климата на северо-западе Среднерусской возвышенности в голоцене // Изв. РАН. Сер. Географическая. 2016. № 1. С. 103–114.
27. Novenko E., Tsyganov A., Volkova E., Babeshko K., Lavrentiev N., Payne R., Mazei Yu. The Holocene palaeoenvironmental history of Central European Russia reconstructed from pollen, plant macrofossil and testate amoeba analyses of the Klukva peatland, Tula region // Quarter. Res. 2015. Vol. 83. P. 459–468.
28. Новенко Е. Ю., Цыганов А. Н., Волкова Е. М., Бабешко К. В., Мазей Ю. А. Динамика ландшафтов и климата на северо-западе Среднерусской возвышенности в голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, География. 2014. № 6. С. 24–31.
29. Езупенок Е. Э. Содержание химических элементов в торфах и торфяных почвах южно-таежной подзоны Западной Сибири : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2005. 12 с.
30. Носова М. Б., Волкова Е. М. 850-летняя динамика растительности внутренней части лесного массива в пределах «Засечной черты» (зона широколиственных лесов, Тульская область) // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Биол. 2014. Т. 119, вып. 6. С. 49–56.
31. Либих Ю. М. Химия в приложении к земледелию и физиологии растений. М., 1936. 199 с.
32. Frontasyeva M. V., Steinnes E. Distribution of 35 elements in peat cores from ombrotrophic bogs studied by epithermal neutron activation analysis // J. of Radioanal. and Nucl. Chem. 2005. Vol. 265, № 1. P. 11–15.
33. Центральный федеральный округ. Тульская область. Гидрогеологическая карта докайнозойских отложений. Масштаб 1:500000. ВСЕГИНГЕО, 2002. URL: http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/cfo/tulskaya_obl/27_Tula_gidro_doKZ.jpg (дата обращения: 14.03.2016).
34. Центральный федеральный округ. Тульская область. Гидрогеологическая карта кайнозойских отложений. Масштаб 1:500000. М. : ВСЕГИНГЕО, 2002. URL: http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/cfo/tulskaya_obl/28_Tula_gidro_KZ.jpg (дата обращения: 14.03.2016).
35. Карпенко Л. В. Микроэлементный состав торфяных почв Нижнего Приангарья // Вестн. КрасГУ. 2009. № 4. С. 139–144.

Образец для цитирования:

Волкова Е. М., Горелова С. В., Чекова Д. А. Динамика экологических условий и накопление химических элементов в генезисе водораздельных болот Центральной России // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16, вып. 4. С. 450–462. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-4-450-462.