

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ

© Н.С. ЛАРИНА, С.И. ЛАРИН, Ю.Н. КОРОТКОВА

nslarina@yandex.ru, silarin@yandex.ru

УДК 550.42

ГЕОХИМИЯ ОРЛОВСКОГО ЗАЙМИЩА*

АННОТАЦИЯ. Проведен послойный геохимический анализ торфяной залежи Орловского займища (Омская область). Показано наличие двух периодов формирования торфяника, наличие геохимических барьеров.

SUMMARY. The level-by-level geochemical analysis of Orlovsk water-meadow peat deposit (Omsk region) is carried out. The presence of two periods of turbary formation, as well as the presence of geochemical barriers, is shown.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Тяжелые металлы, послойный химический анализ, низинные торфяники

KEY WORDS. Heavy metals, the level-by-level chemical analysis, turbaries.

В составе природных комплексов Западной Сибири особое место занимают торфяники, занимающие около 50% ее территории. Поэтому для оценки эколого-геохимического состояния природной среды важным является изучение интенсивности вовлечения химических элементов в миграционные процессы в торфяных почвах. Торфяники являются мощными природными сорбентами, обладают способностью концентрировать разнообразные загрязняющие вещества. В верховых торфяниках главным источником загрязняющих веществ является атмосферная пыль, привносимая с осадками и непосредственно эоловым путем [1], для низинных торфяников определяющим фактором считается грунтовое питание. Геохимическое строение торфяной залежи отражает протекание многих процессов на протяжении периода ее формирования.

Целью данной работы явилось определение ряда геохимических показателей, в том числе некоторых металлов, из торфяной залежи Орловского займища, расположенного в Крутинском районе Омской области (23 км на северо-запад от с. Крутинка и 1 км на север от с. Орлово). В 2002 году из толщи торфяника был произведен послойный отбор образцов торфа через каждые 3 см. Пробы были отобраны в северо-восточной осушенной части торфяника, возле деревни Ширяево. В настоящее время восточную часть займища охватывает густая дренажная сеть, разбивающая его поверхность на отдельные «чеки», заросшие осоковой, осоково-тростниковой и злаково-осоковой растительностью с ивняком и мелким березняком. В хозяйственном отношении оно используется для заготовки сена местным населением.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки (ГК № 14.740.11.0299; ГК 14.740.11.0641).

Стратиграфия разреза торфяника (разрез 3/02) отражает смену отложений древнего озера, существовавшего на месте торфяника, и превращение его в низинное болото. Она представлена следующими слоями (сверху вниз, см): 1. 0-42 — торф осоковый, среднеразложившийся, мокрый, с макроостатками осок, нижняя граница резкая, рыхлый; 2. 42-101 — торф осоковый, аналог слоя 1, но более плотный; 3. 101-170 — озерная глина (ил) сизовато-палевого цвета, сильно мажется, с остатками осок, в интервале от 101 до 125-130 см более темного цвета.

Судя по мощности аналогичных торфяных залежей и радиоуглеродным датам с такой же глубины из Суминского и Каякского займищ Барабинской низменности [2], расположенных в одной природно-климатической зоне, ее возраст должен быть не древнее второй половины субатлантического периода голоцена. Расчеты показывают, что абсолютный возраст основания торфяной залежи Орловского займища должен составлять около 600-700 л.н., т.е. примерно XIII-XIV век н.э. Аналогичные данные о скорости накопления торфа в займищах Барабы (0,73 мм/год) приводят О.Л. Лисс и др. [3].

В отобранных образцах, после предварительной подготовки и озоления проб были определены некоторые общие геохимические показатели ($pH_{\text{водн.}}$, электропроводность водной вытяжки, зольность, потери при прокаливании, фосфор), а также общее содержание некоторых металлов (меди, цинка, свинца, никеля, железа и марганца).

Определение общих геохимических показателей позволяет оценить тип торфа, его кислотность, содержание и степень разложения органического вещества (рис. 1).

pH. По всей глубине разреза наблюдается снижение величины pH снизу вверх, при этом можно выделить три характерных участка, различающихся скоростью закисления. Максимальная скорость этого процесса наблюдается на глубинах 155-160 см, в озерных глинах, подстилающих торфяник, где за короткий промежуток времени значение pH изменилось на 1. Затем скорость закисления заметно уменьшается, хотя закисление палеоводоема не прекратилось — до глубины 103 см величина pH уменьшилась еще на 1. В верхней части разреза (0-100 см) процесс закисления протекает еще менее интенсивно (рис. 1а). В последнем случае водоем уже прекратил свое существование, и озерный режим сменился болотным.

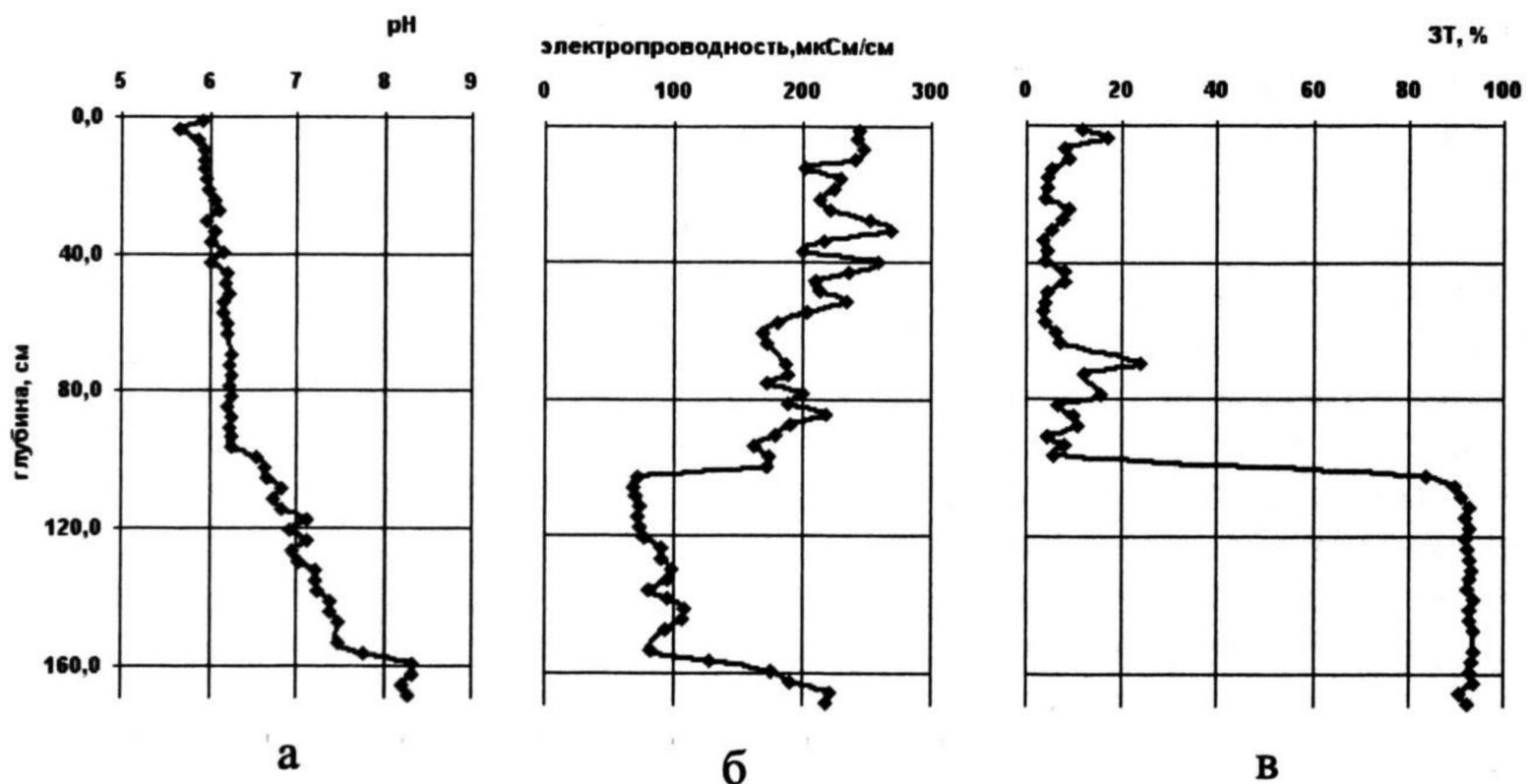


Рис. 1. Зависимость pH водной вытяжки (а), электропроводности (б) и зольности (в) от глубины залегания образца

Электропроводность водной вытяжки (рис. 1б), характеризующая ее минерализацию, также существенно изменяется по глубине разреза, причем и на этой зависимости можно выделить те же 3 участка по глубине: 155-165 см — резкое уменьшение электропроводности; 155-103 см — электропроводность практически не изменяется (около 90 мкСм/см) и выше 100 см — происходит засоление вытяжки сначала резко на 100 единиц, а затем постепенно еще на 100 мкСм/см. Указанная тенденция увеличения минерализации согласуется с выводами других исследователей, отмечавших увеличение засоления низинных торфяников в процессе их геохимической эволюции [4].

Зольность и потери при прокаливании. Результаты определения зольности на различной глубине разреза торфяника представлены на рис. 1в, из которого видно, что на глубине около 100 см зольность резко увеличивается (в 15 раз), что свидетельствует о кардинальном изменении условий в период времени, соответствующий данной глубине. Стратиграфические данные показывают, что в этот период произошло изменение режима с озерного на болотный, поскольку эта глубина фиксирует основание торфяной залежи.

Этот интервал глубин характеризуется достаточно высоким содержанием органического вещества, для которого характерны заметные колебания по глубине. Среднее значение зольности на этом участке составляет $7,7 \pm 1,7\%$. На кривой можно выделить несколько четко выраженных экстремумов и трендов. Четко определяются несколько периодов заметного возрастания зольности на глубинах: 100-70; 55-45; 35-25; 15-5 см, сменяющиеся резким падением. Полученные результаты позволяют предполагать наличие определенной ритмичности в развитии торфяника, обусловленной как климатическими условиями их формирования, так и пирогенными факторами. В частности, периоды возрастания зольности могут быть связаны с усилением эолового переноса твердых частиц, которое наиболее характерно для сухих (с малым количеством осадков) периодов. В этих же климатических условиях возрастает возможность возникновения пожаров, что также может увеличивать зольность торфа.

Фосфаты. Основным источником поступления фосфатов в почвы и торфа являются остатки растительности, которые при разложении поставляют в них фосфор. Среднее содержание фосфатов в исследуемом разрезе составляет $0,89 \pm 0,36\%$. Характер изменения содержания фосфатов по разрезу представлен на рис. 2а. На рисунке выделяются две характерные области: от 170 до 103 см — содержание фосфатов низкое и практически не изменяется (среднее значение составляет $0,04 \pm 0,01\%$); от 97 до поверхности — значительное возрастание содержания фосфатов (среднее значение — $1,49 \pm 0,01\%$) и его существенное изменение по глубине. В верхней части разреза (торф) можно выделить 4 достоверных максимума содержания фосфора на глубинах около: 20, 30, 60 и 80 см (расчетное время соответственно 136, 200, 400, 528 л.н.) при этом возрастание концентрации происходит достаточно резко, а убывание — более плавно. В этом отличие характера данных зависимостей от изменения зольности на этих участках. Явно выраженные минимумы наблюдаются на глубинах 90, 70, 42, 25 и 5 см. Вероятно, эти глубины соответствуют периодам максимального усвоения фосфора растениями или, наоборот, полному отсутствию растительности.

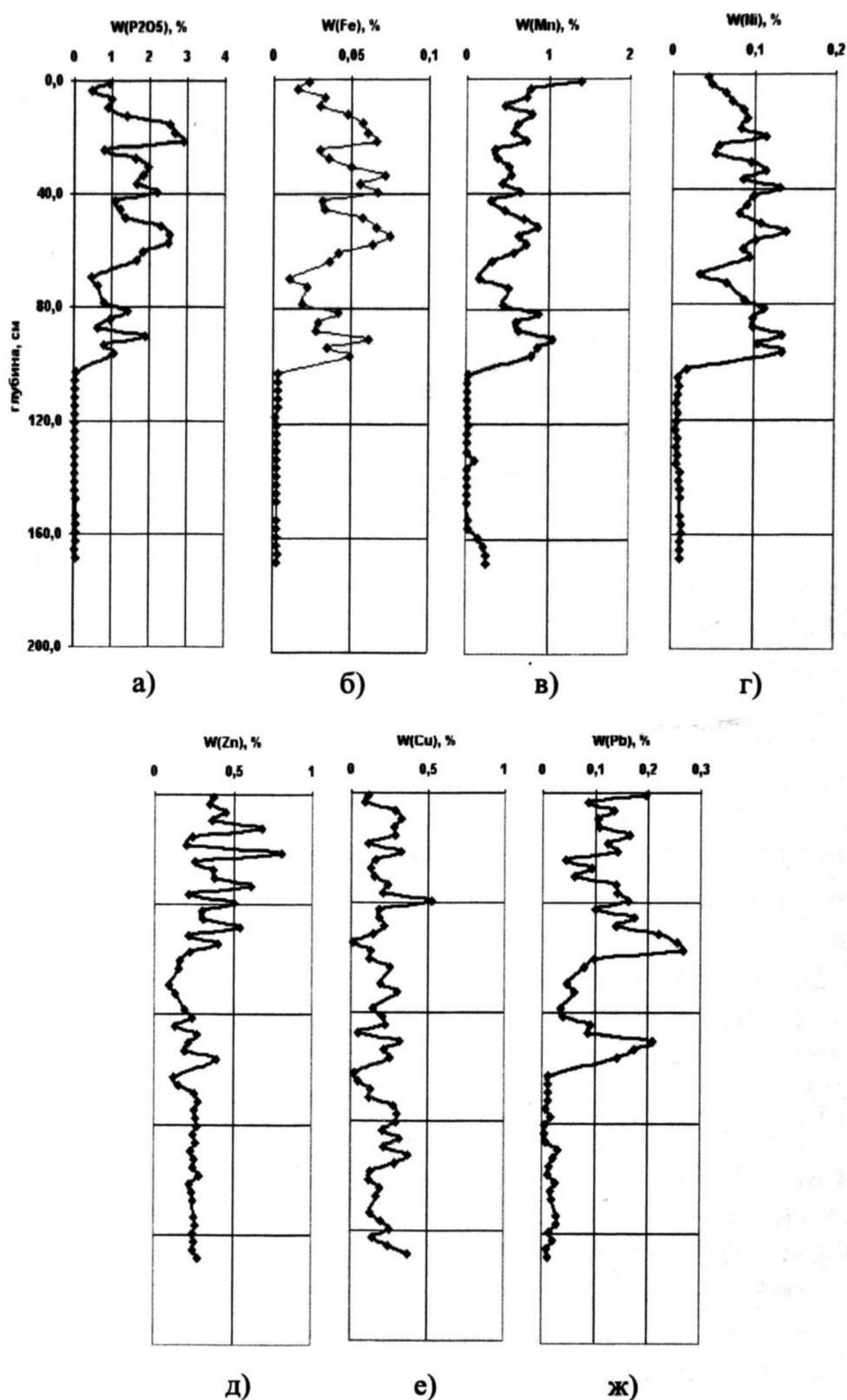


Рис. 2. Сравнительная диаграмма распределения элементов по разрезу:
 а) фосфаты, б) железо, в) марганец, г) никель, д) цинк, е) медь, ж) свинец

Содержание фосфора в нижней части разреза, начиная с глубины около 160 см, плавно убывает, затем возрастает до глубины 80 см. При этом на рис. 2а можно видеть минимум с концентрацией 0,02% (123 см). По сути, эта глубина, вероятно, соответствует началу эвтрофирования водоема, его постепенному зарастанию в течение довольно длительного периода.

Максимумы и минимумы в содержании органического вещества и фосфатов располагаются на одной и той же глубине. Как видно из рисунков, наименьшее

содержание органического вещества и фосфатов приходится на глубину 70 см (76,22% и 0,47% соответственно). При этом наибольшая концентрация (96,05% органического вещества и 2,89% фосфатов) соответствует глубине 22 см. Аналогично можно выделить пять областей: 0-24, 24-43, 43-70 и 70-97 см, где зависимость носит характер параболы, и область 103-167 см с практически неизменным содержанием органического вещества.

Содержание некоторых металлов в торфе Орловского займища.

Железо. На рис. 2,б представлено распределение содержания железа по глубине разреза. Средняя концентрация по разрезу — $(2,6 \pm 0,7) \cdot 10^{-2} \%$. Как и в предыдущих случаях, можно выделить 2 области: 0-103, 103-170 см. Для первого участка характерно значительное колебание содержания железа по разрезу — $(1 \text{ ч } 8) \cdot 10^{-2} \%$. Среднее содержание железа в верхней части разреза — $(4,3 \pm 0,7) \cdot 10^{-2} \%$. Максимум содержания 0,08% наблюдается на глубине 54 см, минимальное значение 0,01% — на глубине 70 см и в приповерхностном слое. Более детальное рассмотрение позволяет выделить четыре характерных участка (0-25, 25-43, 43-70 и 70-103 см), где изменение содержания железа проходит через экстремум.

В нижней части разреза содержание железа изменяется незначительно (рис. 2б), средняя концентрация железа на этом участке составляет — $(4,5 \pm 0,9) \cdot 10^{-3} \%$, т.е. на порядок ниже, чем в торфяном слое.

Обращает внимание схожесть зависимостей распределения железа и фосфора (рис. 2 а, б) верхней (торфяной) части разреза: максимумы и минимумы содержания элементов расположены на одной и той же глубине. Возможно, железо играет определяющую роль в закреплении фосфат-ионов в торфе в виде фосфатов железа.

Марганец. В целом по разрезу концентрация металла составляет $(39,3 \pm 9,6) \cdot 10^{-2} \%$. Распределение содержания марганца в пересчете на массу золы по глубине исследуемого торфяника представлено на рис. 2в, при анализе которого можно выделить две зоны — 0-97 и 103-170 см. Для верхней части разреза характерны значительные колебания содержания марганца. Среднее значение на этом участке составляет $0,63 \pm 0,09 \%$. При этом максимум приходится на приповерхностный слой, по мере продвижения вглубь торфяника содержание металла имеет тренд к уменьшению, минимум приходится на глубину 70 см, что также согласуется с приведенными данными по содержанию органического вещества и железа. Это уменьшение не монотонно, а ритмически изменяется с выделением тех же четырех экстремумов. В нижней части разреза содержание марганца практически неизменно до глубины 160 см, ниже которой концентрация марганца резко возрастает. Как известно, в районах сильного увлажнения и выпадения большого количества осадков марганец выщелачивается из почвы, что и наблюдается в нижней части разреза (рис. 2 в). Аналогичный характер распределения по разрезу наблюдается у *никеля* (рис. 2 г) и *цинка* (рис. 2 д).

Медь. Отличительной особенностью распределения меди по разрезу является отсутствие четкой границы на глубине 103 см в пересчете на массу золы (рис. 2е), эта граница лучше просматривается при пересчете на массу торфа. Среднее содержание по всему разрезу составляет $0,21 \pm 0,04 \%$, причем в нижней и верхней части разреза средние значения мало отличаются друг от друга, хотя колебания по глубине значительны. Тренд содержания меди в верхней части разреза показывает тенденцию к уменьшению.

Свинец. Распределение свинца по разрезу представлено на рис. 2ж, из которого видно, что свинец распределен крайне неравномерно, при этом, как и для остальных элементов выделяются две отличительные области. В верхней части разреза на глубине 58 и 91 см выделяются два ярко выраженных пика — 0,27 и 0,21% соответственно, между которыми расположен участок с минимальным содержанием металла (0,04%). Средняя концентрация — $(12,7 \pm 2,3) \cdot 10^{-2}\%$. В нижней части разреза содержание металла меняется не столь значительно. Свинец равномерно распределен по глубине — $(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}\%$. Более детальное рассмотрение позволяет выделить участок 130-160 см, где изменение содержания металла проходит через экстремумы. Это три характерных пика на глубинах 130, 141 и 157 см (0,03%). Обращает на себя внимание тренд увеличения содержания свинца в самой верхней части разреза.

Проведение корреляционного анализа (табл. 1) подтвердило вывод о тесной взаимозависимости в распределении большинства металлов: значения 14 коэффициентов выше 0,5.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции содержания элементов по всему разрезу

	Fe	P	Mn	Cu	Ni	Pb	Zn	pH	ЭП*
Fe	1								
P	0,96	1							
Mn	0,75	0,70	1						
Cu	0,08	0,05	0,04	1					
Ni	0,92	0,86	0,79	0,08	1				
Pb	0,86	0,82	0,81	-0,02	0,81	1			
Zn	0,46	0,38	0,36	0,29	0,33	0,32	1		
pH	-0,42	-0,65	0,32	0,02	0,70	0,42	0,84	1	
ЭП*	0,48	0,66	0,73	0,06	0,15	0,61	0,33	-0,52	1

* ЭП — электропроводность.

Значительны корреляции железа и фосфора с марганцем, никелем и свинцом. Самые высокие коэффициенты корреляции наблюдаются у фосфора и железа (0,96), что может свидетельствовать об их совместном накоплении, например, в виде фосфата железа.

Поскольку морфологическое описание разреза и анализ распределения элементов по глубине позволили выделить две характерные области, в которых характер веществ значительно различается между собой (границей этого разделения служит глубина 103 см). Для этих двух областей был проведен отдельный корреляционный анализ, результаты которого представлены в табл. 2, 3. Количество корреляций в этом случае заметно меньше, но по-прежнему высокой остается корреляция между железом и фосфором, что позволяет предположить, что эти элементы отлагаются в торфе преимущественно в виде фосфата железа. Можно отметить также значимую отрицательную корреляцию между значениями pH и электропроводности водной вытяжки.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции верхней части разреза (0-97 см)

	Fe	P	Mn	Cu	Ni	Pb	Zn	pH	ЭП
Fe	1								
P	0,88	1							
Mn	0,22	0,12	1						
Cu	0,20	0,11	0,02	1					
Ni	0,66	0,46	0,22	0,19	1				
Pb	0,64	0,54	0,52	-0,01	0,45	1			
Zn	0,42	0,28	0,24	0,31	0,21	0,18	1		
pH	0,37	-0,03	-0,30	-0,01	0,31	-0,19	-0,62	1	
ЭП	-0,29	-0,09	0,11	0,10	-0,37	0,03	0,42	-0,66	1

Значительна корреляция между содержанием свинца и никеля с железом, хотя степень их значимости понижается.

В нижней части разреза (донные отложения) корреляции практически отсутствуют, за исключением положительной корреляции между значениями pH и электропроводности. Если в целом по разрезу и в верхней части разреза они изменяются в противофазе, то в нижней части разреза коэффициент корреляции равен 0,92. Можно выделить только положительную корреляцию между фосфором и никелем, медью и цинком, и одну значимую отрицательную корреляцию между свинцом и железом. При этом фосфор, марганец и никель значимо коррелируют с электропроводностью.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции нижней части разреза (103-170 см)

	Fe	P	Mn	Cu	Ni	Pb	Zn	pH	ЭП
Fe	1								
P	-0,09	1							
Mn	0,08	0,17	1						
Cu	-0,37	-0,39	0,34	1					
Ni	0,25	0,64	0,25	-0,44	1				
Pb	-0,51	0,43	-0,02	-0,20	0,16	1			
Zn	-0,49	-0,22	0,19	0,58	-0,50	-0,01	1		
pH	0,09	0,37	0,51	0,01	-0,31	0,11	0,43	1	
ЭП	0,20	0,58	0,58	0,15	0,61	0,21	0,07	0,92	1

Анализ графических зависимостей (рис. 2) позволяет отметить схожесть в распределении по глубине свинца и марганца: для обоих металлов можно выделить две отличительные области — 0-97 и 103-170 см. Прослеживается тенденция к уменьшению содержания по мере продвижения вглубь торфяника, однако для свинца необходимо отметить главный максимум на глубине 58 см, а для марганца — у поверхности торфяника. Максимумы и минимумы для металлов практически по всему разрезу совпадают. При этом наибольшее совпадение наблюдается на глубине 0-43 см. Во второй области — 103-170 см

также получаем практически симметричное расположение кривых. Приведенные данные четко согласуются с корреляционным анализом.

Немаловажную роль в накоплении цинка играет рН среды, а также содержание железа и марганца. Содержание железа и цинка находятся во взаимной зависимости, что вполне согласуется с проведенными исследованиями. На глубине 103 см концентрация железа убывает и далее по разрезу практически не изменяется, в случае цинка получаем аналогичную картину. Как видно из рисунка, почти по всему разрезу максимумы и минимумы, характерные для обоих металлов, совпадают. При одновременном увеличении содержания железа и марганца содержание цинка также увеличивается.

Анализ характера распределения макро- и микроэлементов позволяет выделить несколько геохимических барьеров — 10-22, 28-40 и 43-55 см, которые характеризуются резким увеличением содержания элементов (за исключением меди и цинка), а также область 58-82 см, на которую приходится минимальная концентрация всех исследуемых элементов. Содержание органического вещества и фосфатов четко коррелируют, что является свидетельством их взаимосвязи, т.е. источником поступления фосфатов является органическое вещество. Цинк, свинец и медь как привносимые извне элементы накапливаются преимущественно в верхней части разреза, причем отсутствует корреляция с органическим веществом и другими элементами, выявлена тесная взаимосвязь в содержании железа и фосфора, железа и никеля.

Таким образом, изучение послойного распределения некоторых элементов и характеристик торфа по глубине позволяет выделить некоторые общие закономерности, связанные с историей развития торфяника. Пики, характеризующие максимальное и минимальное содержание, почти по всему разрезу приходятся на одну и ту же глубину. Четко прослеживается граница на глубине 103 см, соответствующая моменту формирования торфяника. Минимум в содержании всех исследуемых элементов приходится на глубину 70 см, что может свидетельствовать о значительных климатических изменениях в этот период. В верхней (торфяной) части разреза наблюдаются существенные колебания содержания элементов. В нижней части (донные отложения) — содержания большинства показателей изменяются несущественно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремова Т.Т. Биогеохимия Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Ti, V, Mo, Ta, W, U в низинном торфянике на междуречье Оби и Томи / Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Куценогий К.П. // Почвоведение. 2003. № 5. С. 557-567.
2. Орлова Л.А. Голоцен Барабы (стратиграфия и радиоуглеродная хронология). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 128с.
3. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / Под ред. д.б.н., проф. В.Б. Куваева. Тула: Гриф и К°, 2001. 584с.
4. Куркин К.А. Системные исследования динамики лугов. М.: Наука, 1976. 284 с.