

## Почвообразование на техногенных озёрных илах

© 2018. Е. В. Дабах<sup>1,2</sup>, к. б. н., доцент, с. н. с.,

<sup>1</sup> Вятская государственная сельскохозяйственная академия,  
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,

<sup>2</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,  
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,  
e-mail: dabakh@mail.ru

Статья посвящена почвам техногенного ландшафта (Technosols по WRB), формирующимся на загрязнённых техногенных озёрных отложениях, вышедших на дневную поверхность после изменения гидрологического режима и прекращения поступления в озеро загрязнённых сточных вод. Исследуемая территория расположена в долине р.Вятки в районе хвостохранилищ химических предприятий г. Кирово-Чепецка (Кировская область, Россия). Мощность почвенного профиля ограничена плотной гипсовой коркой, залегающей на глубине 30 см и способствующей переувлажнению почв. В отличие от окружающих кислых аллювиальных почв, они характеризуются щелочной реакцией, контрастностью верхней и нижней частей молодой почвы. Участие аллювиального процесса и влаголюбивой растительности в формировании профиля приводит к изменению состава и свойств почвы, особенно верхних горизонтов. По сравнению с донными осадками и нижними слоями почв в верхних горизонтах выше доля алюмосиликатного компонента в минералогическом и химическом составах, ниже щёлочность, резко снижается уровень загрязнения. По биологическим показателям оторфованная подстилка и гумусовый горизонт близки к гумусовым горизонтам окружающих аллювиальных почв.

Почвенный и растительный покровы, формирующиеся на техногенных озёрных илах в пойме, препятствуют активному размыву в паводок нижележащей неструктурной загрязнённой «надкорковой» илистой массы и растворению гипсовых новообразований – кор, сдерживающих подвижность мощной толщи загрязнённых техногенных отложений.

**Ключевые слова:** почвообразование, техногенные илы, гипсовые коры, химическое загрязнение почв.

## Soil formation on technogenic lake sediments

© 2018. E. V. Dabakh<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0002-6088-4819,

<sup>1</sup> Vyatka State Agricultural Academy,  
113, Oktyabrskiy Prospekt, Kirov, Russia, 610017,

<sup>2</sup> Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch RAS,  
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,  
e-mail: dabakh@mail.ru

The article is devoted to soils of the technogenic landscape (Technosols according to WRB) formed on contaminated man-caused lake sediments that have come on the daylight area after a change in the hydrological regime and the stopping of contaminated sewage into the lake. The investigated territory is located in the Vyatka Valley in the tailing pits of chemical enterprises in Kirovo-Chepetsk (Kirov Region, Russia). The thickness of the soil profile is limited by a dense gypsum crust lying at a depth of 30 cm and contributing to waterlogging of soils. Unlike the surrounding acidic alluvial soils, they are characterized by an alkaline reaction, contrast of the upper and lower parts of the young soil. The participation of the alluvial process and moisture-loving vegetation in the formation of the profile leads to a change in the composition and properties of the soil, especially the upper horizons. In comparison with the bottom sediments and the lower layers of soils in the upper horizons, the share of the aluminosilicate component in the mineralogical and chemical compositions is higher, the alkalinity is lower, and the pollution level sharply decreases. According to biological indices, the decayed litter and humus horizon are close to the humus horizons of surrounding alluvial soils. The soil and vegetation cover formed on technogenic lake sediments in the floodplain prevents active erosion of the underlying undeveloped contaminated sediments during the flood time and the dissolution of gypsum crusts, which inhibit the mobility of contaminated technogenic deposits.

**Keywords:** soil formation, technogenic sediments, gypsum crust, chemical soil contamination.

В условиях техногенеза вокруг промышленных зон городов сформировались природно-техногенные системы, в которых разнообразие почвообразующих пород возрастает благодаря техногенным отложениям различного характера. Сочетание техногенного (почвообразующая порода) и природных факторов (климата, рельефа, растительности, поверхностных и подземных вод) обеспечивает формирование своеобразных почв, не типичных для данной местности. В связи с этим представляют интерес почвы, формирующиеся на гипсово-карбонатной породе в долине реки Вятки в районе центра химической промышленности – г. Кирово-Чепецка Кировской области.

Выходы пород, содержащих гипс, довольно редко встречаются в таёжно-лесной зоне, и почвообразование на таких породах возможно благодаря тому, что «скорость физической дезинтеграции существенно превышает скорость растворения мономинерального субстрата» [1]. Содержащие гипс техногенные отложения в долине р. Вятки образовались на дне пойменного озера в результате поступления промышленных сточных вод, насыщенных сульфатами и карбонатами щелочных, щелочноземельных элементов и аммония. После проведения природоохранных мероприятий изменился химический состав вод, гидрологический режим водоёма, техногенные донные осадки вышли на поверхность. Вследствие прекращения поступления загрязнённых поверхностных вод началось восстановление экосистемы в новых условиях. На техногенных илах начал формироваться почвенный покров. Длительность почвообразования 30–40 лет.

Целью настоящей работы было изучение направления почвообразования и особенностей почв, формирующихся на техногенных илах – донных отложениях, вышедших на поверхность в результате изменения гидрологического режима водоёма.

Задачи исследования включали: изучение морфологических и химических особенностей техногенных отложений и формирующихся на них почв, выявление их отличий от природных почв, определение направления и скорости почвообразования в процессе восстановления территории после техногенного воздействия.

### Объекты и методы исследования

Исследуемая территория расположена на северо-востоке европейской части России, на северо-западной окраине Вятско-Камской

провинции подзоны дерново-подзолистых почв южной тайги. Климат относится к континентальному умеренному типу. Среднегодовая температура составляет +2,4 °С. Средняя температура января -13,7 °С, июля +18,4 °С. Территория находится в зоне достаточного увлажнения: среднегодовое количество осадков – в пределах 560–580 мм, 60–70% выпадает в тёплое время года. Преобладающими ветрами в течение года являются юго-юго-западные, повторяемость южных ветров составляет около 20%, юго-западных – 18%. В январе частота юго-юго-западных ветров возрастает до 45% [2]. Исследуемый участок притеррасной поймы реки Вятки в районе озера Просного ежегодно затопливается во время весеннего половодья, длительность затопления от 10 до 20 суток. Пик половодья обычно приходится на первую декаду мая.

Притеррасное озеро Просное было последним водным объектом в системе водоотведения химических предприятий г. Кирово-Чепецка, и до ввода в эксплуатацию шламонакопителей и хвостохранилищ в течение 25 лет жидкие отходы попадали в озеро, растворённые и взвешенные вещества оседали, формируя толщу техногенных илов, объём которых составляет около 330 тыс. м<sup>3</sup> [3]. До начала функционирования химического комбината площадь озера была 10 га, протяжённость – около 1,5 км, озеро было бессточным (рис. 1). В настоящее время озеро Просное вытянуто в длину на 400 м, современная площадь его составляет около 3,4 га. В результате заиливания около 70% территории озера превратилось в заболоченную низменность, по которой протекает река Елховка, сток реки почти на 50% формируется сточными водами промышленных предприятий. Между озером и притоком реки Вятки р. Просницей (старое название Волошка) появилась искусственная протока. На техногенных илах, заполнивших озеро и вышедших на дневную поверхность, активно идёт почвообразование и заселение прибрежно-водной растительностью.

Объектами исследования были техногенные отложения и формирующиеся на них почвы, образцы которых отбирались на заиленной части оз. Просного.

Подобные почвы в международной классификации WRBSR на самом высоком таксономическом уровне выделены как Техносолы (Technosols) [4, 5].

Техногенные отложения отбирались на всю глубину залегания до минерального дна (4–6 м) с помощью ручного бура с интервалом

опробования 80 см, образцы почв отбирались из горизонтов профиля. Фоновая проба донных отложений отобрана из р. Елховки выше по течению зоны влияния химических предприятий.

Химический анализ проб почв и донных отложений проводился в экоаналитической лаборатории Вятского государственного университета (ВятГУ), на кафедре почвоведения, мелиорации, землеустройства и химии Вятской государственной сельскохозяйственной академии (ВГСХА) по общепринятым методикам. Валовое содержание и концентрации подвижных соединений элементов, извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8, определялись в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (г. Черноголовка) методами масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Минералогический состав почв изучался рентгендифрактометрическим

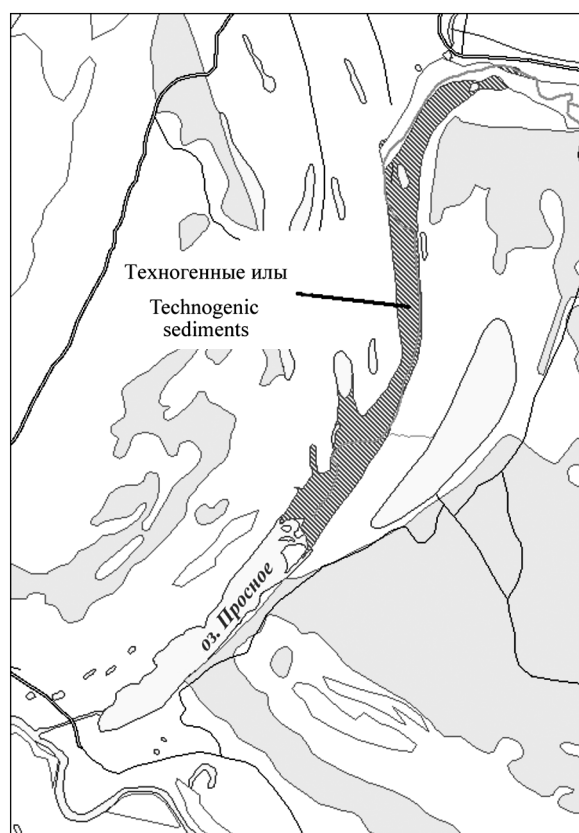
методом в лаборатории минералогии кафедры химии почв МГУ им. М.В. Ломоносова.

### Результаты и обсуждение

*Морфологическая характеристика техногенных илов и почв.* Мощность техногенных донных отложений озера Просное достигает 6 м, по консистенции это вязкая масса неоднородного серого цвета (рис. 2). Внешние признаки техногенных илов оз. Просное соответствуют морфологическим свойствам, присущим техногенным донным образованиям водных объектов [6]. Техногенные илы представляют собой пластичные глины, состоящие на 70–80% из карбоната и сульфата кальция. В их толще встречаются твёрдые гипсовые коры. В месте заложения почвенного разреза мощность илов составляла 4 м, кора выявлена на глубине 0,3 м от поверхности, а также на глубинах 0,6 и 3,1 м. Мощность кор невелика – от нескольких миллиметров до первых сантиметров (рис. 3). Над первой от



Старая акватория оз. Просное (1952 г.)  
Old water area of the Prosnoye Lake (1952)



Современная акватория оз. Просное  
Current water area of the Prosnoye Lake

Рис. 1. Карты-схемы, отражающие изменение морфометрических характеристик озера со временем  
Fig. 1. Schematic maps showing the change in the morphometric characteristics of the lake with time





**Рис. 2.** Отбор проб техногенных илов на оз. Прсноем  
**Fig. 2.** Sampling of technogenic sediments on the Prosnoye Lake



**Рис. 3.** Гипсовые коры  
**Fig. 3.** Gypsum crusts



**Рис. 4.** Профиль почвы на техногенных илах  
**Fig. 4.** Soil profile on technogenic sediments

поверхности корой залегает рыхлая щебнистая серовато-белая масса, которую только условно можно рассматривать как почвообразующую породу, поскольку в пойме почвообразование и литогенез происходят одновременно.

В профиле почвы выделены следующие горизонты: оторфованная подстилка мощностью 7–10 см, гумусовый горизонт мощностью около 3–4 см, сизоватая со ржавыми пятнами сырая глинистая масса глеевого горизонта мощностью до 8 см и почвообразующая порода – мокрый серовато-белый щебнистый горизонт (рис. 4). По морфологическим особенностям профиля можно диагностировать проявление подстилкообразования, гумусообразования и глеевого процесса.

*Химический состав техногенных илов и почв.* Макроэлементный состав пяти проб техногенного ила, отобранных с разных глубин, близкий. В связи с этим в таблице 1 приведены средние содержания оксидов элементов в 5 пробах из одного шурфа (ТИ-2).

В отличие от слагающего пойму аллювия и современных донных осадков, в валовом химическом составе техногенных илов отмечается очень высокое содержание кальция (20–30%) и серы (5–10%), низкое – алюминия, железа, калия и натрия.

В микроэлементном составе техногенных илов отмечаются существенные различия по глубинам. В составе верхней части техногенных отложений отмечено высокое содержание ртути, свинца, цинка, стронция, кадмия, мышьяка (от 1 до 7 ПДК). В нижних слоях техногенных наносов содержание микроэлементов возрастает. Данные по 8 шурфам позволяют обозначить приуроченность максимальных концентраций ряда элементов к определенным глубинам (табл. 2).

Максимальное накопление висмута и кадмия отмечено на глубинах от 0,4 до 1,2 м, цинка,

олова, сурьмы, свинца и ртути – глубже 4,5 м, при этом концентрации тяжёлых металлов в илах выше кларка (по А.П. Виноградову) и ПДК для почв по всей глубине шурфа.

Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в техногенных илах значительно выше, чем в пойменном и русловом аллювии. По сравнению с кларком пойменный аллювий отличается высоким содержанием мышьяка, донные отложения – ртути. Коэффициент техногенного загрязнения илов [4] превышает 32 и позволяет оценить степень загрязнения как опасную. Формулы геохимической ассоциации [7] в техногенных илах, опробованных непосредственно в месте заложения почвенного разреза, следующие:

$Pb_{41}-Hg_{31}-Cd_{23}-Bi_{13}-(Sb-Ag)_6-(Zn-Y)_4-Mo_3-As_2-(Sr-U)_{1,5}$  в слое 0–0,8 м;  
 $Hg_{64}-Pb_{51}-Sb_{32}-Sn_{13}-Y_{12}-Cd_{10}-Zn_8-(Bi-Ag)_7-(Ba-As)_3-Mo_2-U_{1,6}$  на глубине 3,2–4 м.

Они свидетельствуют о комплексном загрязнении илов и, несмотря на существенные различия в содержании загрязняющих веществ в толще илов, указывают, что максимальные коэффициенты концентрации характерны для свинца и ртути.

Химический состав почв, сформировавшихся на техногенных отложениях, представлен в таблицах 3, 4, 5.

Согласно приведённым данным, нижние минеральные слои почв по валовому химическому составу ближе к техногенным илам, чем к органоминеральным горизонтам (табл. 3). Однако по сравнению с илами в почвах отмечены более высокие концентрации алюминия, железа, марганца, фосфора, калия. Выявлены резкие различия между почвой и техногенными илами по содержанию серы, связанные, по-видимому, со значительным участием гипса в формировании кор и подкорковых глин. В верхних горизонтах содержание кальция

Таблица 1 / Table 1

Валовой состав техногенных илов (ТИ-2), пойменного аллювия (р. 940) и современных донных отложений (фон), %  
The total composition of technogenic sediments (TS-2), floodplain alluvium (r. 940) and modern bottom sediments (background), %

Проба Sample	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Собщ Stotal
ТИ-2	2,5±	1,40±	30,7±	1,70±	0,26±	0,25±	0,06±	0,09±	0,07±	7,18±
TS-2	0,3*	0,14	2,1	0,08	0,04	0,05	0,02	0,01	0,03	2,07
р. 940 г. 940	9,8	4,3	1,0	1,5	1,2	1,2	0,15	0,5	0,12	0,032
Фон Back- ground	6,6	4,0	6,3	1,4	1,4	0,82	0,14	0,40	0,13	0,073

Примечание: \* Стандартное отклонение  
Note: \* Standard deviation

Таблица 2 / Table 2

Максимальные концентрации тяжёлых металлов (ТМ) и мышьяка в техногенных илах, мг/кг  
The maximum concentrations of heavy metals (HM) and arsenic in technogenic sediment, mg/kg

Элемент Element	Cd	Bi	Zn	Sn	Sb	Pb	As	U	Hg	Cu
Максимальные концентрации, мг/кг Maximum concentration, mg/kg	4,3	2,5	2044	55,7	163	1124	50,7	32,2	30,4	295
Интервал глубин с максимальным содержанием элемента, м Depth interval with the maximum element content, m	0,4–1,2		4,4–5,2				5,2–6,0			
Кларк (по Виноградову, 1949 г./1962 г.) Clark (according to Vinogradov, 1949/1962)	5/ 0,13	0,2/ 0,009	58/ 83	40/ 2,5	0,5/ 0,4	16/ 16	5/ 1,7	3/ 2,5	0,07/ 0,083	100/ 47
Содержание элемента в пойменном аллювии Element content in floodplain alluvium	0,18	0,22	78,4	1,7	0,87	16,1	19,2	7,6	0,035	40,4
Содержание элемента в фоновой пробе донных отложений The content of the element in the background sediment sample	0,23	0,11	90,5	1,3	0,79	18,8	5,2	2,0	0,30	115

Таблица 3 / Table 3

Валовой химический состав почв на техногенных отложениях, %  
The total chemical composition of soils on technogenic sediments, %

Глубина, см Depth, cm	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S <sub>общ</sub> S <sub>total</sub>
0–7	8,7	5,2	5,6	1,6	1,0	0,42	0,84	0,41	0,51	0,23
7–11	10,0	6,2	7,7	1,8	1,1	0,46	0,46	0,48	0,57	0,18
11–18	4,3	2,6	34,7	0,91	0,41	0,25	0,17	0,20	0,32	0,29
18–30	4,0	2,0	34,6	1,1	0,40	0,29	0,12	0,17	0,30	0,40
ТИ-2/ TS-2	2,5	1,4	30,7	1,7	0,26	0,25	0,06	0,09	0,07	7,18

значительно ниже, что соответствует минералогическому составу почв. Согласно данным рентгендифрактометрического анализа, в нижних горизонтах почв абсолютно преобладает кальцит, в верхних – доля кальцита снижается, но отчётливо диагностируются кварц, глинистые минералы-алюмосиликаты: разбухающий смешаннослойный минерал, гидрослюды.

Микроэлементный состав почв также показал, что исходная неоднородность наносов сохраняется (табл. 4). Верхняя органоминеральная толща резко отличается от нижних горизонтов. Во всех горизонтах отмечается превышение предельно допустимых значений цинка, кадмия, сурьмы, ртути, свинца, а также превышение фонового содержания стронция. Накопление в органогенном горизонте стронция может быть обусловлено как современным аллювиальным процессом, так и биогенной аккумуляцией элемента. Сравнительный анализ

микроэлементного состава изучаемой почвы и типичной для данного участка поймы аллювиальной дерново-глеевой почвы позволил выявить незначительное отличие содержания ТМ и мышьяка в верхних горизонтах обеих почв [8]. Однако концентрации загрязняющих веществ резко возрастают в нижних слоях почвы, формирующейся на техногенных отложениях, и, напротив, постепенно снижаются вниз по профилю природной почвы.

Уровень загрязнения, согласно суммарному показателю загрязнения  $Z_c$ , оценивается как допустимый в верхних слоях и средний – в нижних.

Концентрации подвижных соединений тяжёлых металлов, извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8 (ААБ), либо близки к ПДК, либо значительно превышают нормативные значения (табл. 5).

Наибольшее количество обменных форм меди, цинка и свинца характерно для мине-

Таблица 4 / Table 4  
Содержание микроэлементов в почвах на техногенных илах, мг/кг  
The content of trace elements in soils on technogenic sediments, mg/kg

Глубина, см Depth, cm	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb	Bi	Zc
0–7	86,8	81,1	308	11,6	606	3,1	2,1	9,8	3,8	183	0,89	5,4
7–11	83,2	91,6	319	13,0	479	2,9	2,4	9,8	3,0	189	1,1	4,3
11–18	47,0	176	560	8,6	435	7,3	2,6	6,4	14,0	465	3,1	14
18–30	50,7	154	601	7,3	441	9,8	2,7	22,7	27,0	434	2,6	25
ПДК (ОДК), фон* MPC (APC), background*	80	132	220	10	118*	2	2,5*	4,5	2,1	130	н/д n/d	–

Примечания: Фон\* – фоновое содержание элемента в почвах Кировской области; ПДК приведены по ГН 2.1.1.2041-06; 80 – ОДК для суглинистых почв с pH > 5 (по ГН 2.1.1.2042-06); н/д – данные отсутствуют.

Notes: Background\* – background content of the element in the soils of the Kirov region; the maximum permissible concentrations are given in the GN 2.1.1.2041-06 (Russian hygienic standards); 80 – approximate permissible concentrations (APC) for loamy soils with pH > 5 (according to GN 2.1.1.2042-06); n/d – no data.

Таблица 5 / Table 5  
Содержание подвижных соединений тяжёлых металлов  
The content of mobile compounds of heavy metals

Глубина, см Depth, cm	Концентрации подвижных соединений ТМ, мг/кг (числитель) % от валового содержания (знаменатель) Concentrations of mobile compounds of HM, mg/kg (numerator) % of total content (denominator)				
	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb
0–7	1,7/2,0	81,6/26,5	1,9/61	3,4/4	7,9/4,3
7–11	2,4/2,6	78,9/24,7	2,0/68	4,2/5	12,4/6,6
11–18	39,4/22,4	147/26,2	5,1/70	5,1/10,9	116/24,9
18–30	24,3/15,8	157/26,1	7,0/71	5,7/11,2	155/35,7
ПДК / MPC	3	23	–	4	6

ральных горизонтов. Вероятно, это объясняется высоким исходным уровнем загрязнения надкорковых отложений, а также содержанием карбонатов в этих горизонтах. По мнению [9], в ААБ вытяжку переходят не только обменные, но и прочно связанные ионы металлов, удерживаемые тонкодисперсными («активными») карбонатами. Соотношения подвижных и валовых форм элементов показывают, что высокое общее содержание ТМ в почве сопровождается увеличением концентрации его подвижных соединений. Исключением является цинк, доля подвижных соединений которого во всех горизонтах составляет около 25%. Цинк отличается большей подвижностью. При высоких значениях рН возрастает роль растворимых комплексов цинка с органическими веществами и комплексных анионных форм цинка [10]. Можно предположить, что в данном случае именно более высокая концентрация органического вещества в верхних горизонтах при меньшем общем содержании элемента обеспечивает его высокую подвижность. По нашим данным [11], в аллювиальных почвах, сформировавшихся на алюмосиликатных породах в пойме р. Вятки, доля подвижных соединений от валовых концентраций независимо от подтипа составляла от 7 до 15% для свинца, 10–15% для цинка, 0,7–2,6% для меди, от 1,2 до 6% для никеля, около 30% – для кадмия. Соотношения концентраций подвижных соединений и валовых содержаний меди, свинца, никеля в верхних горизонтах (табл. 5), укладываются в указанные диапазоны. Высокие соотношения показателей, отмеченные в нижних слоях техногенных почв, соответствуют значениям, рассчитанным для современных донных отложений р. Елховки, и являются косвенным подтверждением загрязнения почв тяжёлыми металлами.

Суммарное содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) в почвах на техногенных отложениях оказалось ниже, чем в природных аллювиальных почвах (табл. 6), хотя в нижних горизонтах оно близкое.

Концентрации всех элементов, за исключением Sc, ниже или близки к кларкам (по Виноградову, 1962). Содержание скандия в два раза превышает кларк элемента. В техногенных почвах лантаноиды (Ln) и Sc содержатся в количествах, не превышающих кларки, содержание Y – **повышенное в нижних** слоях профиля.

Концентрации Ln и РЗЭ в целом в природных почвах характеризуются аккумулятивным распределением по профилю. В техногенных почвах также отмечается накопление Ln в гумусовом горизонте, но распределение РЗЭ в целом по минеральным горизонтам равномерное. Равномерность распределения РЗЭ обеспечивается за счёт резкого (в 2 раза) увеличения содержания Y в двух нижних слоях почвы на техногенных илах.

В распределении отдельных Ln по профилю проявлялись следующие особенности: в обеих почвах отмечалось относительное накопление в гумусовом горизонте А1 лантаноидов от La до Eu, концентрации остальных элементов этого ряда от Gd до Lu постепенно возрастали в техногенных почвах и снижались в природных аналогах [12].

Вероятно, такое распределение подтверждает различное геохимическое поведение лёгких и тяжёлых лантаноидов. В литературе отмечалось, что органические лиганды образуют с тяжёлыми лантаноидами более прочные растворимые комплексы, поэтому доля сохранившихся лёгких лантаноидов в почвах выше (цитировано по [13]).

Таблица 6 / Table 6

Суммарное содержание лантаноидов и РЗЭ в почвах поймы  
The total content of lanthanides and rare earth elements (REE) in the soils of the floodplain

Глубина, см Depth, cm	Содержание лантаноидов, мг/кг Content of lanthanides, mg/kg	Общее содержание РЗЭ, мг/кг Total REE content, mg / kg
Почва на техногенных илах / Soil on technogenic sediments		
0–7	107,79	144,19
7–11	120,97	163,56
11–18	105,24	160,84
18–30	107,35	167,05
Почва на аллювии / Soil on alluvium		
0–7	151,50	197,84
7–16	155,67	197,96
16–26	145,73	184,65
26–50	129,75	166,78



Таблица 7 / Table 7

Свойства почв на техногенных илах  
Properties of soils on technogenic sediments

Глубина, см Depth, cm	Содержание органического вещества, % Organic matter content, %	pH водн. pH <sub>н<sub>2</sub>О</sub>	pH сол. pH <sub>КCl</sub>
0–7	23,8±2,4	7,6±0,2	6,9±0,2
7–11	18,6±1,9	7,8±0,2	7,2±0,2
11–18	7,4±,7	8,0±0,2	7,9±0,2
18–30	6,8±0,7	7,9±0,2	7,7±0,2

Свойства почв на техногенных отложениях. Почвы на техногенных илах отличаются слабощелочной реакцией, причём вниз по профилю pH возрастает (табл. 7). В окружающих аллювиальных почвах значения pH соответствуют слабокислой реакции среды (около 5,5).

Почти одинаковые значения pH в водной и солевой вытяжках в нижних слоях почвы свидетельствуют о насыщенности их основаниями. Содержание органического вещества высокое, закономерно снижается вниз по профилю. Несомненно, в оторфованной подстилке значительную часть органического вещества составляют растительные остатки.

В процессе почвообразования на техногенных осадках существенную роль в создании лабильного органического вещества играют фототрофные микроорганизмы [14]. Альгологический анализ почвенных образцов показал, что в процессе преобразования техногенных осадков в пойме наблюдается массовое развитие водорослей и цианобактерий (ЦБ), чётко дифференцированное в зависимости от горизонтов по видовому и количественному представительству. Видовое богатство фототрофов представлено 34 видами водорослей и ЦБ, в том числе из отдела Cyanophyta – 7, Chlorophyta – 23, Xanthophyta – 2, Bacillariophyta – 2. При этом наблюдается ярко выраженная тенденция снижения видового богатства с глубиной. Представители Cyanophyta размножаются только в 2-х верхних горизонтах. Только в верхнем горизонте встречаются жёлтозелёные (Xanthophyta) и диатомовые (Bacillariophyta) водоросли. Преобладание видового разнообразия в отделах Chlorophyta характерно и для аллювиальных дерновых почв окружающих пойменных лугов [15]. В этом отделе три вида (*Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum infusionum* и *Pseudococcomyxa simplex*) обнаружены в каждом горизонте, что, вероятно, свидетельствует о максимально высокой экологической валентности данных видов, так как условия обитания (аэрация, световой режим, химический состав и т. д.) в горизонтах резко различаются. Хотя

максимальное видовое разнообразие характерно для зелёных водорослей, максимальное количественное обилие отмечено у ЦБ, развивающихся в верхних горизонтах. Микрофототрофы, благодаря высокой скорости размножения, способны создавать значительные объёмы первичной продукции, пополняя запасы органического вещества почвы [14].

### Выводы

Таким образом, в долине реки Вятки в районе г. Кирово-Чепецка после прекращения поступления в пойменное озеро загрязнённых сточных вод химических предприятий и изменения гидрологического режима на поверхность вышли техногенные донные отложения, на которых начали формироваться почвы. Техногенные илы представляют собой вязкую серую массу, характеризуются опасным уровнем загрязнения, прежде всего, свинцом и ртутью. Морфологические особенности формирующихся на них почв заключаются в малой мощности профиля и наличии водоупора в виде гипсовой корки, в оторфованности подстилки и присутствии отчётливых признаков оглеения. В химическом составе почв проявляется, с одной стороны, исходная неоднородность и загрязнённость техногенного ила, с другой – участие свежего аллювия алюмосиликатного состава.

Почвы загрязнены тяжёлыми металлами, мышьяком, стронцием. В верхней части профиля уровень загрязнения слабый, в нижней – умеренный. В нижних слоях возрастает концентрация ртути, свинца, цинка, сурьмы, а также увеличивается подвижность ТМ (меди, цинка, свинца), почти в два раза выше кларка содержание иттрия. Следовательно, почвы наследуют высокую исходную загрязнённость техногенных илов, однако их верхние горизонты, благодаря участию свежего аллювия и более активному вовлечению элементов в биологический круговорот, отличаются слабым уровнем загрязнения.

В отличие от окружающих кислых аллювиальных почв, почвы на техногенных илах



характеризуются слабощелочной реакцией в органоминеральных горизонтах, щелочной – в нижних слоях профиля.

В процессе преобразования техногенных илов наблюдается массовое развитие водорослей и ЦБ, чётко дифференцированное в зависимости от горизонтов по видовому и количественному представительству. Видовой состав альгофлоры верхних горизонтов формирующихся почв соответствует таковому в аллювиальных дерновых почвах окружающей территории.

Главные процессы, участвующие в формировании профиля – образование оторфованной подстилки, гумусообразование и оглеение – в течение нескольких десятилетий привели к образованию маломощной почвы, которая наследует свойства техногенных илов, но в то же время приобретает черты, присущие природным аллювиальным почвам.

Формирование почвенного покрова на техногенных отложениях в пойме следует рассматривать как положительное явление. Образовавшийся органоминеральный горизонт и растительный покров препятствуют активному размыву в паводок нижележащей неструктурной загрязнённой «надкорковой» илистой массы и растворению гипсовых новообразований – кор, сдерживающих подвижность мощной толщи загрязнённых техногенных отложений.

Автор благодарит своих коллег Г.Я. Кантора и А.П. Лемешко за помощь в отборе проб.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.*

### Литература

1. Goryachkin S.V., Spiridonova I.A., Targulian V.O., Sedov S.N. Boreal soils on hard gypsum rocks: morphology, properties, and genesis // Eurasian Soil Science. 2003. V. 36. No. 7. P. 691–703.
2. География Кировской области. Атлас-книга / Под ред. Е.А. Колеватых, А.М. Прокашева, Г.А. Русских. Киров: Кировская областная типография, 2015. 80 с.
3. Дружинин Г.В., Лемешко А.П., Ворожцова Т.А., Синько В.В., Нечаев А.Н. Техногенные отложения озера Просного в системе водоотведения Кирово-Чепецкого химического комбината // Региональные и муниципальные проблемы природопользования: Матер. IX науч.-практ. конф. Киров–Кирово-Чепецк, 2006. С. 127–128.

4. Янин Е.П. Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности). М.: НП «АПСО», 2018. 415 с.

5. Capra G.F., Ganga A., Grilli E., Vacca S., Buon-donno A. A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective // J. Soils Sediments. 2015. V. 15. P. 1602–1618. doi: 10.1007/s11368-015-1110-x.

6. IUSS Working Group WRB 2015 World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World soil resources reports. No. 106. FAO, Rome.

7. Ревич Б.А., Сагит Ю.Е., Смирнова Р.С., Сорокина Е.П. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.

8. Дабах Е.В. Микроэлементы в почвах, сформировавшихся на техногенных отложениях в районе предприятий холдинга «Уралхим» // Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы: Материалы VIII биогеохимической школы, посвященной 150-летию со дня рождения академика В.И. Вернадского. Гродненский государственный университет / Отв. ред. В.В. Ермаков. М.: ГЕОХИ РАН, 2013. С. 352–353.

9. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. Ростов-на-Дону: Изд-во «Эверест», 2009. 208 с.

10. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

11. Дабах Е.В. Редкоземельные элементы в почвах на техногенных отложениях // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 2. Киров: ВятГУ, 2017. С. 137–140.

12. Дабах Е.В., Кантор Г.Я., Лемешко А.П. Состояние почв в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // Современные проблемы загрязнения почв: Матер. III междунар. конф. М., 2010. С. 80–84.

13. Водяницкий Ю.Н., Рогова О.Б. Биогеохимия лантаноидов в почвах // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2016. Вып. 84. С. 101–118.

14. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Дабах Е.В., Елькина Т.С. Структурные особенности альгогруппировок на начальных этапах формирования почв на техногенных илах. Водоросли в эволюции биосферы // Материалы 1 палеоальгологической конференции. Москва, ПИН РАН. 2013. 158 с.

15. Кондакова Л.В., Дабах Е.В. Альгосинусии пойменных лугов на техногенной территории // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 73–84.

### References

1. Goryachkin S.V., Spiridonova I.A., Targulian V.O., Sedov S.N. Boreal soils on hard gypsum rocks: morphology,

- properties, and genesis // Eurasian Soil Science. 2003. V. 36. No. 7. P. 691–703.
2. Geography of Kirov Region. Atlas book / Eds. E.A. Kolevatykh, A.M. Prokashchev, G.A. Russkikh. Kirov: Kirovskaya oblastnaya tipografiya, 2015. 80 p.
3. Druzhinin G.V., Lemeshko A.P., Vorozhtsova T.A., Sinko V.V., Nechayev A.N. Technogenic sediments of the Prosnoye Lake in then drainage system of Kirovo-Chepetsk chemical plant // Regionalnyye i munitsipalnyye problemy prirodopolzovaniya: Mater. IX nauch.-prakt. konf. Kirov – Kirovo-Chepetsk, 2006. P. 127–128 (in Russian).
4. Yanin E.P. Technogenic river silt (formation conditions, material composition, geochemical features). Moskva: NP «ARSO», 2018. 415 p. (in Russian).
5. Capra G.F., Ganga A., Grilli E., Vacca S., Bondonno A. A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective // J. Soils Sediments. 2015. V. 15. P. 1602–1618.
6. IUSS Working Group WRB 2015. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World soil resources reports. No. 106. FAO, Rome.
7. Revich B.A., Sayet Yu.E., Smirnova R.S., Sorokina E.P. Methodical recommendations on the geochemical assessment of urban pollution by chemical elements. Moskva: IMGRE, 1982. 112 p. (in Russian).
8. Dabakh E.V. Microelements in soils formed on anthropogenic sediments in the area of the holding company «Uralkhim» // Biogekhimiya i biokhimiya mikroelementov v usloviyakh tekhnogeneza biosfery: Materialy VIII biogekhimicheskoy shkoly, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya akademika V.I. Vernadskogo. Grodno State University (Republic of Belarus) / Ed. V.V. Yermakov. Moskva: GEOKhI RAN, 2013. P. 352–353 (in Russian).
9. Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G. Composition of heavy metal compounds in soils. Rostov-na-Donu: Everest, 2009. 208 p. (in Russian).
10. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. Microelements in soils and plants. Moskva: Mir, 1989. 439 p. (in Russian).
11. Dabakh E.V. Rare earth elements in soils on technogenic sediments // Biodiagnostika sostoyaniya prirodnykh i prorodno-tekhnogennykh sistem: materialy XV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Kniga 2. Kirov: VyatGU, 2017. P. 137–140 (in Russian).
12. Dabakh E.V., Kantor G.Ya., Lemeshko A.P. Soil condition in the impact zone of the Kirovo-Chepetsk chemical plant // Modern problems of soil contamination: Mater. III mezhdunar. konf. Moskva, 2010. P. 80–84 (in Russian).
13. Vodyanitskiy Yu.N., Rogova O.B. Biogeochemistry of lanthanides in soils // Bulletin Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchayeva, 2016. V. 84. P. 101–118 (in Russian).
14. Domracheva L.I., Kondakova L.V., Dabakh E.V., Yelkina T.S. Structural features of algological associations at the initial stages of soil formation on technogenic silts. Algae in the evolution of the biosphere // Materialy I paleoalgologicheskoy konferentsii. Moskva, PIN RAN. 2013. 158 p. (in Russian).
15. Kondakova L.V., Dabakh E.V. Algosinusia of floodplain meadows on the technogenic territory // Theoretical and Applied Ecology. 2017. No. 3. P. 73–84. (in Russian).