

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИИ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ АН РТ
МИНИСТЕРСТВО ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ
ИНСТИТУТ РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
ВОЛЖСКО-КАМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ БИОСФЕРНЫЙ ЗАПОВЕДНИК
ОТДЕЛЕНИЕ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
КАФЕДРА ЮНЕСКО «РАЗВИТИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПРИНЦИПОВ ХАРТИИ ЗЕМЛИ ДЛЯ
СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВОГО СООБЩЕСТВА»

ОЗЕРА ЕВРАЗИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

**МАТЕРИАЛЫ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
г. Казань, 20 – 23 мая 2025 г.**

**КАЗАНЬ
2025**

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗЕР. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

ЛАТЕРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ВОДОСБОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ И ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

**А.Б. Александрова, Д.В. Иванов, И.И. Зиганшин, В.С. Валиев, Р.Р. Хасанов,
В.В. Маланин, А.А. Марасов, О.М. Солодникова**

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ

Установлено, что в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия в системе «почва-донные отложения» формируется асцендиальная структура латерального распределения металлов. Содержание элементов в пределах геохимической катены возрастает от автономного ландшафта к подчиненному. Отмечается интенсивный вынос Mn во всех элементарных ландшафтах катены. Концентрации элементов в почвах и донных отложениях не превышают верхних пределов регионального фона, за исключением Cd (в 1,6 раз) и Co (1,3 раза).

Латеральная миграция представляет собой процессы перемещения веществ по земной поверхности от автономного элементарного ландшафта к подчиненному. Различный характер связей между элементарными ландшафтами, входящими в геохимическое сопряжение, отражается на перераспределении химических элементов в почвах, что, в конечном итоге, влияет на качество поверхностных вод. В настоящее время имеется множество работ, посвященных изучению почвенно-геохимических катен, тогда как исследования почв в совокупности с аквальными ландшафтами геохимических катен единичны. В этом аспекте интересным является процесс латеральной дифференциации химических элементов, в частности, металлов, в системе «почва – донные отложения» в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия. Учитывая, что металлы поступают в организмы из окружающей среды, изучение характера накопления химических элементов в геохимических сопряжениях является актуальной задачей. Кроме того, исследование элементного состава почв и донных отложений озер позволяют получить наглядную картину распределения и миграции элементов в целях последующей реализации задач мониторинга окружающей среды.

Известно, что системы земледелия, дифференцированные на уровне зональных природно-сельскохозяйственных провинций и адаптированные под определенные ландшафты, являются высоко эффективными с точки зрения защиты почв от эрозии и противоэрозионной организации территории, что оказывает влияние на состояние естественных и искусственных водных объектов.

Государственный природный заказник регионального значения ландшафтного профиля «Чулпан» расположен в Высокогорском районе Республики Татарстан (РТ). Одним из важных этапов комплексных противоэрозионных мероприятий на территории заказника было создание искусственного водоема в 1970-х гг. Озеро располагается в задернованной балке у с. Большие Ковали. Площадь акватории 9 га, максимальная глубина 6 м. По периметру водоохраной зоны озера высажены лесозащитные полосы, осуществлен посев многолетних трав, проводится мелкоконтурная вспашка почв с учетом особенностей рельефа. Постепенное задернение поверхности почв и удержание

снега лесополосами способствовали прекращению эрозии. Скорость осадконакопления в озере оценивается величиной 6 мм/год, что соответствует средним региональным значениям (Иванов, Зиганшин, 2011).

Исследование проводилось катенарным методом на протяженном (100 м) склоне восточной экспозиции, уклоном 5-10 градусов в границах водоохраной зоны озера. На склоновом участке почвенные разрезы закладывались на элювиальном (Э – вершина склона), трансэлювиальном (ТЭ – средняя часть склона), трансэлювиально-аккумулятивном (ТЭА – нижняя часть склона), субаквальном (СА – прибрежная часть озера) элементарных ландшафтах. Образцы почв отбирались из генетических горизонтов почвенных разрезов и гумусового горизонта прикопок, заложенных в каждом элементарном ландшафте. В аквальном (А) ландшафте отбор поверхностных (0-10 см) проб донных отложений выполнялся в литорали и профундали озера дночерпателем ДЧ-0.025.

В пробах почв и донных отложений определяли гранулометрический состав, pH водной вытяжки, содержание органического вещества, кислоторастворимых (вытяжка 5н HNO₃) форм металлов (Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Zn, Cr, Mn, Fe). Концентрацию элементов в растворе определяли атомно-абсорбционным методом на приборе PerkinElmer AAnalyst 400.

Оценка распределения химических элементов в ряду сопряженных элементарных ландшафтов проводилась сравнением значений коэффициента латеральной дифференциации (L-анализ), который определялся отношением среднего содержания кислоторастворимых форм химического элемента в гумусовом горизонте почв и донных отложениях в изучаемом подчиненном ландшафте к его содержанию в автономном ландшафте. При анализе коэффициентов латеральной дифференциации принималось, что $L > 1,7$ характеризует высокое накопление элемента, $L = 1,1-1,6$ – накопление средней силы, $L = 0,6-1,0$ – незначительный вынос элементов, $L < 0,5$ – интенсивный вынос. Для выявления степени контрастности латеральной дифференциации коэффициенты миграции (L) химических элементов в почвах и донных отложениях были распределены по рядам: контрастные ($L < 0,5$ и $> 1,8$); слабоконтрастные (L от 0,5 до 0,8 и от 1,2 до 1,8); неконтрастные (L от 0,8 до 1,1) (Авессаломова, 2007). Статистическая зависимость между физико-химическими свойствами и содержанием химических элементов устанавливалась по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена.

Почвенный покров геохимической катены представлен старопашотными агросерыми лесными почвами, развивающимся в условиях элювиального, трансэлювиального и трансэлювиально-аккумулятивного элементарных ландшафтов под разнотравными луговыми ценозами, а также, агросерыми лесными почвами со следами оглеения в нижней части профиля, формирующихся в прибрежной части озера. Почвы характеризуются хорошей оструктуренностью и высоким содержанием гумуса. Гранулометрический состав варьирует от среднесуглинистого в элювиальном и транзитном ландшафтах до тяжелосуглинистого с преобладанием мелкопесчаной и крупнопылеватой фракций в трансэлювиально-аккумулятивном и субаквальном ландшафтах. По величине кислотности исследованные представители почв относятся к категории слабокислых.

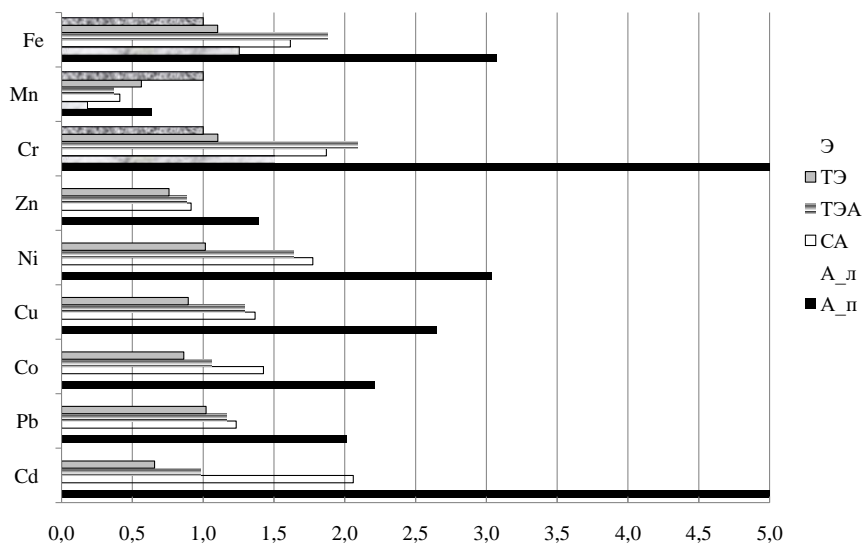
Содержание Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Zn и Cr в почвах геохимической катены в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия демонстрирует уменьшение их концентрации в транзитной части и увеличение в супераквальной зоне. Известно, что одним из путей миграции элементов является не только поверхностный сток, но и почвенный раствор, в котором химические элементы присутствуют в форме свободных ионов и продуктов их взаимодействия с водой, молекулами и ионами других химических элементов в почвах. К ним относятся металлы в составе первичных минералов материнских пород и

вторичных минералов силикатной (глинистые минералы) и несиликатной (оксиды и гидроксиды металлов, соли) природы (Мотузова, 1999). Такая динамика соответствует типичной геохимической организации таежных ландшафтов Восточно-Европейской равнины. Сравнение концентраций кислоторастворимых форм металлов с региональными нормативами фоновое содержания (Региональные ..., 2015) показало отсутствие превышений, что указывает на отсутствие значительного антропогенного воздействия на почвы.

Гранулометрический состав донных отложений варьирует в зависимости от рельефа дна водоема. В мелководной зоне преобладают илистые пески, в профундали – глинистые илы. Содержание органического вещества в отложениях литорали и профундали колеблется от 4 до 9%.

Концентрации большинства металлов в отложениях литорали не превышают верхнего предела регионального фона, за исключением Cd (в 1,6 раза) и Co (в 1,3 раза). Это может быть связано как с естественными процессами миграции элементов, так и с антропогенными факторами, такими как сельскохозяйственная или рекреационная деятельность.

Анализ распределения элементов в подчиненных и автономных ландшафтах геохимической катены позволяет углубить понимание процессов накопления и миграции тяжелых металлов. Латеральное распределение элементов характеризуется высокой контрастностью в различных элементарных ландшафтах (рис.). В частности, наблюдается плавное увеличение концентраций Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Cr и Fe по направлению от элювиального ландшафта к глубоководной части аквального ландшафта. В трансэлювиально-аккумулятивном ландшафте интенсивно накапливаются Ni, Cr и Fe ($L=1,7-2,1$), тогда как Pb, Co и Cu аккумулируются в меньшей степени ($L=1,1-1,3$). Также отмечается слабый вынос Cd и Zn ($L=0,9-1,0$) и интенсивный вынос Mn ($L=0,4$).



Элементарные ландшафты: Э – элювиальный, ТЭ – трансэлювиальный, ТЭА – трансэлювиально-аккумулятивный, СА – субаквальный, А_л – аквальный (литораль), А_п – аквальный (профундаль)

Рис. Коэффициенты латеральной миграции элементов в элементарных ландшафтах геохимической катены

В супераквальном ландшафте наблюдается высокая степень накопления Cd, Zn и Cr ($L=1,7-2,1$), умеренная аккумуляция Pb, Co и Fe ($L=1,2-1,6$) и интенсивный вынос Mn ($L=0,4$). В литоральной части аквального ландшафта происходит интенсивное

накопление Cd и Zn ($L=1,7-3,3$), тогда как Pb, Co и Fe аккумулируются менее интенсивно ($L=1,2-1,3$). В профундали озера отмечено интенсивное накопление Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Cr и Fe ($L=2,0-5,0$), тогда как Zn аккумулируется менее интенсивно ($L=1,4$), а Mn выносится в незначительных количествах ($L=0,6$) (рис.).

По значениям коэффициентов миграции (L) была оценена степень контрастности латеральной дифференциации химических элементов в почвах и донных отложениях. Контрастное распределение ($L<0,5$ и $L>1,8$) характерно для супераквального ландшафта по содержанию Cd и Cr. В трансэлювиально-аккумулятивном и супераквальном ландшафтах накопление элементов может быть связано с механическим осаждением почвенного мелкозема, что особенно выражено в период весеннего паводка.

Кроме того, на накопление элементов влияют физико-химические свойства почв и донных отложений. Влияние гранулометрического состава проявляется в высоких значениях коэффициентов корреляции ($p<0,05$) Cr ($r=0,83$) и Fe ($r=0,83$) с содержанием фракций $< 0,01$ мм. Отмечается сильная связь ($p<0,05$) накопления Pb ($r=0,83$), Co ($r=0,89$), Cu ($r=0,94$), Cr ($r=0,94$), Fe ($r=0,94$) с содержанием илистых частиц, а также Mn ($r=0,89$) с фракцией средней пыли.

Особое внимание следует уделить поведению Mn и Zn. Марганец интенсивно выносится из всех элементарных ландшафтов, что связано с его биогенной природой. Кроме того, на поведение Mn оказывает влияние и литологический состав почв и отложений. Так, увеличение доли песков в литорали озера усиливает миграцию Mn, что подтверждается высоким отрицательным коэффициентом корреляции его содержания ($r=-0,83$) с содержанием соответствующей фракции в отложениях. В отличие от литорали, в профундали озера накопление органического вещества в 2 раза выше, чем в литеральной зоне, что приводит к снижению интенсивности выноса Mn ($L=0,6-1,0$).

Аккумуляция Zn наблюдается в отложениях мелководной части озера, что можно связать с его фиксацией воздушно-водной растительностью, которая покрывает значительную часть прибрежной зоны водоема.

Таким образом, латеральное распределение элементов в геохимической катене заказника «Чулпан» можно охарактеризовать как «восходящую» или «асцендиальную» структуру для всех изученных элементов, за исключением Mn. Особенности распределения элементов отражают геохимический облик системы «почва-донные отложения», формирующейся в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия.

Литература

Авессаломова И.А. Биогеохимия ландшафтов. М.: Географический факультет МГУ, 2007. 161 с.

Иванов Д.В., Зиганшин И.И., Осмелкин Е.В. Оценка скорости осадконакопления в озерах Казани и Приказанья // Георесурсы. 2011. №2. С. 46-48.

Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. М.: Эдиториал УСС, 1999. 168 с.

Региональные нормативы «Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах Республики Татарстан». Утв. Приказом Министерства экологии и природных ресурсов РТ от 30.12.2015 г. №1134-к.

Региональные нормативы «Фоновое содержание тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан». Утв. Приказом Министерства экологии и природных ресурсов РТ от 27.03.2019 г. №316-п.

Чертко Н.К., Карпиченко А.А., Жумарь П.В., Сергиеня Т.А. Геохимическая структура как основа оценки ландшафтного разнообразия // География и природные ресурсы. 2006. №3. С. 137-141.

LATERAL DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN SOILS OF WATER CATCHMENT TERRITORY AND LAKE SEDIMENTS IN CONDITIONS OF ADAPTIVE LANDSCAPE FARMING

A.B. Aleksandrova, D.V. Ivanov, I.I. Ziganshin, V.S. Valiev, R.R. Khasanov, V.V. Malanin,
A.A. Marasov, O.M. Solodnikova

It has been established that in the conditions of agro-gray soils of adaptive landscape agriculture, an ascendial structure of the lateral distribution of Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Zn, Cr, Mn, and Fe is formed in the soil-bottom sediment system. The content of chemical elements within the geochemical catena increases from an autonomous landscape to a subordinate one. Intensive removal of *Mp* is noted in all elementary landscapes of the catena. The concentrations of elements in soils and sediments do not exceed the upper limits of the regional background, with the exception of Cd (1.6 times) and Co (1.3 times).

ХАРАКТЕР РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

В.М. Анохин^{1,2,3}, Д.С. Дудакова¹

¹*Институт озероведения РАН,*

²*Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена*

³*Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина*

В 2019-24 гг. силами ИНОЗ РАН СПб ФИЦ РАН проводилось изучение донных отложений Ладожского озера, включавшее донный пробоотбор, подводную фотовидеосъемку, эхолотные промеры по субрегулярной сети станций. В результате получены новые данные о распространении донных осадков. Проведен гранулометрический анализ проб донных отложений. Составлена схема распространения донных отложений Ладожского озера с использованием цифровых моделей рельефа дна. Выявлен ряд особенностей распространения приповерхностных осадков.

Несмотря на довольно многочисленные и долговременные исследования дна Ладожского озера, в настоящее время его донные отложения изучены недостаточно. В разное время силами ряда организаций проводились исследования литологии дна Ладоги. В числе наиболее значимых обобщающих публикаций по данной тематике можно упомянуть работы (Амантов, Амантова, 2014; Геоэкология..., 1995; Государственная..., 2015; История озер..., 1990; Калесник, 1968; Ладога, 2013; Ладожское ..., 2002; Ладожское ..., 2015; Семенович, 1966) и др. Авторы также имеют публикации, относящиеся к данной теме (Анохин, Дудакова, 2020; Анохин и др., 2019; Дудакова и др., 2019; Дудакова, Юдин, 2022). С течением времени появляются новые и совершенствуются традиционные методы изучения осадочных образований, что дает возможность получения новой информации по распространению тех, или иных типов донных отложений.

В течение 2019-24 гг. специалистами ИНОЗ РАН СПб ФИЦ РАН были проведены исследования донных отложений Ладожского озера с использованием донного пробоотбора по сети станций, приведенной на рисунке 1. Применялась также донная фотовидеосъемка с помощью аппаратов серии «Limnoscout» (Дудакова и др., 2019). Примеры донных фотографий приведены на рисунке 2.