

DOI 10.31029/vestdnc99/4

УДК 504.064

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВ  
НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ  
КАК ИНДИКАТОРЫ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ**

**М. В. Носова**<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0001-7985-6474  
**В. П. Середина**<sup>2</sup>, ORCID: 0000-0002-7432-1726  
**С. А. Стовбуник**<sup>3</sup>, ORCID: 0000-0000-0000-0000

<sup>1</sup>ООО «Сахалинская Энергия», Южно-Сахалинск, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский  
государственный университет, Томск, Россия

<sup>3</sup>ООО «РН-Проектирование Добыча», Томск, Россия

**PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS  
OF SOILS IN THE OIL FIELDS OF THE MIDDLE TAIGA SUBZONE,  
WESTERN SIBERIA,  
AS INDICATORS OF THEIR ECOLOGICAL FUNCTIONS**

**M. V. Nosova**<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0001-7985-6474  
**V. P. Seredina**<sup>2</sup>, ORCID: 0000-0002-7432-1726  
**S. A. Stovbunik**<sup>3</sup>, ORCID: 0000-0000-0000-0000

<sup>1</sup>Sakhalin Energy LLC, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

<sup>2</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

<sup>3</sup>RN-Design Extraction LLC, Tomsk, Russia

---

Аннотация. Исследованы физико-химические свойства и экологические функции дерново-подзолистых, подзолистых и аллювиальных почв, сформировавшихся в среднетаежной подзоне Западной Сибири в условиях естественных экосистем. Определены содержание органического углерода, кислотность, степень насыщенности основаниями, емкость катионного обмена и состав обменных катионов. Выявлены различия в профилях почв по содержанию обменного алюминия, магния и водорода. Установлено, что исследованные почвы выполняют важные экологические функции, включая аккумуляцию органического вещества и участие в регуляции кислотно-основного состояния природных экосистем.

Abstract. This study investigates the physicochemical properties and ecological functions of natural middle taiga soils in Western Siberia, including sod-podzolic, podzolic, and alluvial types. Key parameters analyzed were: organic carbon content, acidity, base saturation, cation exchange capacity (CEC), and exchangeable cation composition. The research identified distinct patterns in the vertical distribution of exchangeable aluminum, magnesium, and hydrogen within the soil profiles. The results demonstrate that these soils perform crucial ecological roles, such as organic matter accumulation and the regulation of acid-base conditions in natural ecosystems.

Ключевые слова: среднетаежная подзона, Западная Сибирь, дерново-подзолистые почвы, подзолистые почвы, аллювиальные почвы, органический углерод, кислотность, обменные катионы, экологические функции.

Keywords: middle taiga subzone, Western Siberia, soddy-podzolic lands, podzolic lands, alluvial lands, organic carbon, acidity, exchange cations, environmental functions.

### **Введение**

Современные исследования трансформации почвенного покрова под влиянием антропогенного воздействия невозможны без комплексного изучения свойств почв, формирующихся в естественных, незагрязненных условиях. Такие почвы играют роль эталона (фона) при экологическом нормировании, мониторинге деградационных процессов и разработке стратегий восстановления нарушенных территорий. В связи с этим особую значимость приобретают данные о физико-химических характеристиках фоновых почв различных ландшафтных зон, в том числе таежных [1–3].

Среднетаежная подзона Западной Сибири характеризуется преобладанием подзолистого типа почвообразования, развитием маломощных профилей с выраженной кислой реакцией, а также высоким уровнем

увлажнения, способствующим активной миграции элементов. Почвы этой зоны традиционно рассматриваются как малопродуктивные, однако в контексте современных экологических задач они приобретают иную роль – как природные буферы, стабилизирующие химический состав поверхностных и грунтовых вод, аккумуляторы органического вещества и регуляторы ионного обмена. Дерново-подзолистые, подзолистые и аллювиальные почвы, несмотря на различия в условиях формирования, могут служить модельными объектами для оценки естественного диапазона вариаций кислотности, содержания органического углерода и состава обменных катионов. Особый интерес представляет распределение обменных форм алюминия, магния и водорода, определяющих биологическую доступность элементов, токсичность почвенной среды и устойчивость к закислению [4–10].

Цель настоящей работы – исследовать физико-химические параметры фоновых почв среднетаежной подзоны Западной Сибири, выявить их экологические функции и определить диапазоны вариаций ключевых показателей, используемых в качестве сравнительной базы при анализе изменений в загрязненных экосистемах.

### Материал и методы исследований

Объектами настоящего исследования выступают почвы среднетаежной подзоны Западной Сибири, формирующиеся в пределах равнинного рельефа с чередованием водоразделов, склонов и понижений. В пределах изучаемой территории почвенный покров отличается высокой мозаичностью, что обусловлено различиями в увлажнении, дренированности и типе почвообразующих пород. Для целей анализа были заложены пятнадцать почвенных разрезов, охватывающих основные генетические типы почв и микроландшафтные положения.

Исследования выполнены в пределах среднетаежной подзоны Западной Сибири на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. В качестве объектов выбраны 15 почвенных разрезов, заложенных в условиях естественных ненарушенных ландшафтов с различным водным режимом и гранулометрическим составом. Почвы формировались на песчаных, супесчаных, суглинистых и глинистых породах и представлены широким спектром генетических типов: от подзолистых и торфянисто-глеевых до аллювиальных, что позволило охватить основные морфологические и экологические особенности почвенного покрова региона. Разрезы размещены в элювиальных, трансэлювиальных, трансэлювиально-аккумулятивных и аккумулятивных позициях ландшафтов, в том числе в прирусловой, центральной и притеррасной частях поймы (см. рисунок). Морфологическое описание разрезов проводилось в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02–84 [11] с обязательной фиксацией границ горизонтов, их структуры, влажности, консистенции, а также цвета по шкале *Munsell Soil Color Charts* (2000) [12], включая параметры тона, цветности и яркости. Наименование почв дано по российской [13] и международной [14] классификациям. Отбор почвенных образцов из горизонтов 0–10 и 10–20 см осуществлялся по ГОСТ 28168–89 [15].

| Элювиальный ландшафт                      | Трансэлювиальный ландшафт           | Трансэлювиально-аккумулятивный ландшафт    | Аккумулятивный ландшафт (пойма)                         |  |  |
|---|-------------------------------------|--|---|--|--|
|   |                                     |  | Прирусловая   | Центральная  | Притеррасная                                   |
| Подзолистая почва<br>(Разрез-1)           | Глееподзолистая почва<br>(Разрез-4) | Торфянисто-подзолистая почва<br>(Разрез-5) | Аллювиальная серогумусовая<br>(Разрез-6)                | Аллювиальная серогумусовая<br>(Разрез-9, 11, 12, 13) | Аллювиальная перегнойно-глеевая<br>(Разрез-14) |
| Подзол (Разрез-2)                         |                                     |  | Аллювиальная слоистая глееватая<br>(Разрез-7, Разрез-8) | Аллювиальная светлогумусовая<br>(Разрез-10)          | Аллювиальная серогумусовая<br>(Разрез-15)      |
| Торфяная олиготрофная почва<br>(Разрез-3) |                                     |  |   |  |  |

Объекты исследования

В элювиальном ландшафте изучены подзолистая иллювиально-железистая мелкоосветленная легксуглинистая почва (P-1, *Albic Podzol*), иллювиально-железистый подзол ненасыщенного типа с мелкой подзолистостью и песчаным сложением (P-2, *Gleyic Podzol*), а также торфяная олиготрофная перегнойная (P-3, *Histic Podzol*). В трансэлювиальных позициях рассмотрена глееподзолистая бескарбонатная глубокоосветленная песчаная почва (P-4, *Gleyic Podzol*), а в трансэлювиально-аккумулятивном ландшафте – торфянисто-подзолистая иллювиально-железистая профильно-глееватая супесчаная почва (P-5, *Histic Podzol*). Эти почвы сформировались в условиях недостаточного дренажа и характеризуются

осветленными элювиальными горизонтами, проявлением оглеения и аккумуляцией органического вещества в верхней части профиля. Цвет горизонтов 0–10 и 10–20 см варьирует от белесого и светло-серого (10YR 6/2–7/2) до темно-бурого и почти черного (10YR 2/1–3/2), консистенция изменяется от рыхлой до влажной или переувлажненной, структура преимущественно бесструктурная или слабо выраженная.

Аллювиальные почвы, заложенные в прирусловой, центральной и притеррасной частях поймы, представлены серогумусовыми, перегнойными и глеевыми разновидностями различного гранулометрического состава. Среди них – аллювиальная серогумусовая глееватая среднесуглинистая (P–6, *Stagnosols Fluvic*), аллювиальная слоистая глееватая легкосуглинистая на погребенной почве (P–7, *Stagnosols Fluvic*), крайне мелкая песчаная (P–8, *Stagnosols Fluvic*), типично-глееватая тяжелосуглинистая (P–9 и P–13, *Gleyic Fluvisols*), светлогумусовая ненасыщенная супесчаная (P–10, *Stagnosols Fluvisols*), глеевая серогумусовая маломощная среднесуглинистая (P–11, *Stagnosols Fluvic*), легкосуглинистая (P–12, *Stagnosols Fluvisols*), перегнойно-глеевая малогумусированная среднесуглинистая (P–14, *Histic Fluvisols*) и типичная глеевая мелкая легкосуглинистая (P–15, *Gleyic Fluvisols*). Морфологические признаки верхних горизонтов отражают высокую степень внутриводораздельной дифференциации: наблюдается варьирование окраски от серовато-бурой до темной (10YR 3/3–5/4), комковатая или рыхлая структура, разная степень влажности, а также наличие мрамороватости, конкреций, свидетельствующих о глеевом режиме.

Все лабораторные исследования выполнялись в сертифицированной почвенной лаборатории. Кислотность почвенной среды (рН) определяли в водной вытяжке по ГОСТ 26423–85 [16]. Содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) определяли по ГОСТ 26213–2021 [17], используя метод Тюрина в модификации с пироксидной окислительной смесью и титриметрическим окончанием. Емкость катионного обмена и сумма поглощенных оснований рассчитывались по ГОСТ 26487–85 [18] на основе экстракции ацетатно-аммонийным буфером. Обменные формы катионов кальция, магния, водорода и алюминия выделяли в соответствии с ГОСТ 26484–85 [19] и ГОСТ 26485–85 [20], при рН 4,65. Гидролитическую кислотность устанавливали по ГОСТ 26212–2021 [21], а степень насыщенности основаниями рассчитывали как отношение суммы оснований к полной катионообменной емкости. Лабораторные измерения проводились в трехкратной повторности с соблюдением правил метрологического контроля.

Анализ результатов выполнялся с применением методов сравнительной почвенной диагностики и функциональной интерпретации. Обработка данных осуществлялась в электронных таблицах с построением сводных структур по каждому из разрезов, что позволило выявить закономерности распределения свойств и степени реализации экологических функций почв. Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с применением программ *Microsoft Excel* и *Statistica*. В результате были получены средние значения, диапазоны варьирования и стандартные отклонения, которые легли в основу последующей интерпретации реализуемых экологических функций почв.

### Результаты исследований

Физико-химические показатели почв исследованных разрезов в пределах среднетаежной подзоны Западной Сибири демонстрируют выраженное разнообразие, отражающее морфогенетические различия, микрорельеф, условия увлажнения и тип растительного покрова. Анализ 15 почвенных разрезов позволил выделить основные закономерности распределения физико-химических свойств – показателей, служащих индикаторами реализации ключевых экологических функций почв. Данные сгруппированы по трем внутриводораздельным позициям – прирусловой, центральной и притеррасной частям поймы, что позволяет проследить пространственно-функциональную дифференциацию почвенного покрова.

*Органический углерод ( $C_{орг}$ )*. Поверхностный слой прирусловых почв содержит в среднем 3,9%  $C_{орг}$  при разбросе 2,6–5,2% – максимальное значение среди всех микроландшафтов (Таблица 1). В центральной части поймы среднее значение ниже – 2,90%, но диапазон шире, что отражает высокую мозаичность растительных сообществ и гранулометрического состава. Притеррасные почвы по содержанию органики более однородны: 2,64%. Во всех позициях наблюдается закономерное падение  $C_{орг}$  в горизонте 10–20 см. Снижение почти вдвое для прирусловой и притеррасной зон статически значимо, поскольку превышает соответствующие стандартные отклонения (1,83 и 0,59%), что указывает на резкий вертикальный градиент аккумуляции органического вещества в пределах первых 20 см.

Реакция среды (рН(H<sub>2</sub>O)). Верхний слой прирусловых и центральных почв демонстрирует одинаковое среднее значение ( $\approx 5,2$ ), тогда как притеррасные горизонты остаются более кислыми ( $\approx 4,7$ ). В горизонте 10–20 см реакция несколько ближе к нейтральной, что свидетельствует о подвижке оснований вниз по профилю (Таблица 2).

**Таблица 1.** Статистические показатели  $C_{\text{орг}}, \%$  в поверхностных горизонтах почв

| Параметр                       | Глубина, см | lim = min–max | M(X)±STD  |
|--------------------------------|-------------|---------------|-----------|
| Почвы прирусловой части поймы  | 0–10        | 2,58–5,17     | 3,88±1,83 |
|                                | 10–20       | 1,89–2,86     | 2,38±0,69 |
| Почвы центральной части поймы  | 0–10        | 0,43–5,37     | 2,9±3,49  |
|                                | 10–20       | 0,99–4,85     | 2,92±2,73 |
| Почвы притеррасной части поймы | 0–10        | 2,22–3,06     | 2,64±0,59 |
|                                | 10–20       | 0,98–1,43     | 1,21±0,32 |

Примечание: lim = min–max – разброс выборки; M(X)±STD – среднее значение±стандартное отклонение.

**Таблица 2.** Статистические показатели рН в поверхностных горизонтах почв

| Параметр                       | Глубина, см | lim = min–max | M(X)±STD  |
|--------------------------------|-------------|---------------|-----------|
| Почвы прирусловой части поймы  | 0–10        | 4,7–5,6       | 5,15±0,64 |
|                                | 10–20       | 5,25–5,5      | 5,38±0,18 |
| Почвы центральной части поймы  | 0–10        | 4,2–6,1       | 5,15±0,64 |
|                                | 10–20       | 4,7–6,27      | 5,38±0,18 |
| Почвы притеррасной части поймы | 0–10        | 4,6–4,8       | 4,7±0,14  |
|                                | 10–20       | 4,6–4,7       | 4,65±0,07 |

Примечание: lim = min–max – разброс выборки; M(X)±STD – среднее значение±стандартное отклонение.

*Обменные основания.* Концентрация  $\text{Ca}^{2+}$  в поверхностных горизонтах прирусловых почв достигает  $\approx 15$  ммоль(экв)/100 г при максимуме 21,6, что на порядок выше минимальных значений центральной поймы и почти вдвое превосходит среднее значение притеррасной зоны (Таблица 3). Распределение  $\text{Mg}^{2+}$  иное: центральная пойма демонстрирует наибольшее среднее содержание, тогда как прирусловая – минимальное. Таким образом,  $\text{Ca}^{2+}$ -доминирование характерно для прирусловых почв, а  $\text{Mg}^{2+}$ -обогащение – признак центральной части поймы.

**Таблица 3.** Статистические показатели физико-химических свойств (обменные основания) в поверхностных горизонтах почв

| Параметр                                  | Глубина, см | lim = min–max | M(X)±STD   |
|---|-------------|---------------|------------|
| Почвы прирусловой части поймы             |             |               |            |
| $\text{Ca}^{2+}$ , ммоль(экв)/100 г почвы | 0–10        | 9,99–21,62    | 15,04±5,96 |
|   | 10–20       | 10,2–17,74    | 13,42±3,88 |
| $\text{Mg}^{2+}$ , ммоль(экв)/100 г почвы | 0–10        | 1,46–4,69     | 3,34±1,68  |
|   | 10–20       | 2,44–3,06     | 2,72±0,31  |
| Почвы центральной части поймы             |             |               |            |
| $\text{Ca}^{2+}$ , ммоль(экв)/100 г почвы | 0–10        | 4,48–19,78    | 8,82±6,30  |
|   | 10–20       | 7,18–23,46    | 12,80±6,52 |
| $\text{Mg}^{2+}$ , ммоль(экв)/100 г почвы | 0–10        | 0,6–8,69      | 4,96±3,51  |
|   | 10–20       | 3,46–7,28     | 5,13±1,41  |
| Почвы притеррасной части поймы            |             |               |            |
| $\text{Ca}^{2+}$ , ммоль(экв)/100 г почвы | 0–10        | 8,77–10,01    | 9,39±0,87  |
|   | 10–20       | 8,36–9,44     | 8,9±0,76   |
| $\text{Mg}^{2+}$ , ммоль(экв)/100 г почвы | 0–10        | 3,13–5,71     | 4,42±1,82  |
|   | 10–20       | 3,06–4,15     | 3,60±0,77  |

Примечание: lim = min–max – разброс выборки; M(X)±STD – среднее значение±стандартное отклонение.

*Кислотные катионы.* Суммарная обменная кислотность ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) в верхнем горизонте прирусловых почв составляет 4,28 ммоль(экв)/100 г ( $3,07 \pm 0,64 \text{ H}^+ + 1,21 \pm 0,63 \text{ Al}^{3+}$ ) при узком диапазоне кислотных катионов, тогда как центральная пойма характеризуется не только сопоставимой средневзвешенной величиной, но и наибольшей вариабельностью  $\text{Al}^{3+}$  (Таблица 4). Притеррасные горизонты обладают самым высоким поверхностным  $\text{Al}^{3+}$  и самым низким  $\text{H}^+$ , что создает специфическую комбинацию кислых катионов и усиливает токсичность при одновременно пониженных значениях рН.

Гидролитическая кислотность (Нг). Максимальные средние значения зафиксированы в притеррасной части поймы, что более чем вдвое превышает средний уровень центральных участков и почти втрое – прирусловой (Таблица 5). Отношение  $STD/M > 1$  у прирусловых и центральных почв говорит о сильной пространственно-профильной неоднородности, тогда как для притеррасных почв коэффициент вариации  $< 10\%$ , что подтверждает устойчивое сохранение высокой потенциальной кислотности на всей изученной глубине.

**Таблица 4.** Статистические показатели физико-химических свойств (кислотные основания) в поверхностных горизонтах почв

| Параметр   | Глубина, см | lim = min–max | M(X)±STD   |
|--|-------------|---------------|------------|
| Почвы прирусловой части поймы  |             |               |            |
| Al <sup>3+</sup> , ммоль(экв)/100 г почвы  | 0–10        | 0,7–1,93      | 1,21±0,63  |
|  | 10–20       | 0,57–1,8      | 1,08±0,63  |
| H <sup>+</sup> , ммоль(экв)/100 г почвы  | 0–10        | 2,56–3,79     | 3,07±0,64  |
|  | 10–20       | 1,94–3,17     | 2,45±0,61  |
| Почвы центральной части поймы  |             |               |            |
| Al <sup>3+</sup> , ммоль(экв)/100 г почвы  | 0–10        | 0,30–3,16     | 1,26±1,12  |
|  | 10–20       | 0,35–3,03     | 1,16±1,06  |
| H <sup>+</sup> , ммоль(экв)/100 г почвы  | 0–10        | 1,62–5,02     | 3,00±1,24  |
|  | 10–20       | 1,99–4,4      | 2,82±0,994 |
| Почвы притеррасной части поймы   |             |               |            |
| Al <sup>3+</sup> , ммоль(экв)/100 г почвы  | 0–10        | 1,25–1,56     | 1,40±0,21  |
|  | 10–20       | 0,93–1,24     | 1,08±0,01  |
| H <sup>+</sup> , ммоль(экв)/100 г почвы  | 0–10        | 1,62–1,93     | 1,77±0,08  |
|  | 10–20       | 3,2–3,51      | 3,35±0,21  |
| Примечание: lim = min–max – разброс выборки; M(X)±STD – среднее значение±стандартное отклонение. |             |               |            |

**Таблица 5.** Статистические показатели гидролитической кислотности (ммоль(экв)/100 г почвы) в поверхностных горизонтах почв

| Параметр   | Глубина, см | lim = min–max | M(X)±STD   |
|--|-------------|---------------|------------|
| Почвы прирусловой части поймы  | 0–10        | 9,19–17,27    | 4,12±12,75 |
|  | 10–20       | 6,75–9,8      | 1,52±8,25  |
| Почвы центральной части поймы  | 0–10        | 1,25–11,02    | 4,48±5,19  |
|  | 10–20       | 2,64–13,03    | 3,74±7,67  |
| Почвы притеррасной части поймы   | 0–10        | 9,86–11,2     | 10,53±0,94 |
|  | 10–20       | 10,85–13,02   | 11,93±1,53 |
| Примечание: lim = min–max – разброс выборки; M(X)±STD – среднее значение±стандартное отклонение. |             |               |            |

Степень насыщенности основаниями (V). Наиболее «основные» почвы располагаются в центральной пойме –  $78±15\%$ , тогда как прирусловые и притеррасные горизонты ограничиваются  $6±13\%$  и  $61±1,4\%$  соответственно (Таблица 6). Показательно, что V растет с глубиной в прирусловом и центральном микроландшафтах (до 69% и 74%), но падает в притеррасном (до 59%), что свидетельствует о поступлении кальция и магния в подпочвенные горизонты лишь в двух первых позициях и о стабильно кислой природе притеррасных профилей.

**Таблица 6.** Статистические показатели степени насыщенности (%) основаниями в поверхностных горизонтах почв

| Параметр   | Глубина, см | lim = min–max | M(X)±STD |
|--|-------------|---------------|----------|
| Почвы прирусловой части поймы  | 0–10        | 52–77         | 63±13    |
|  | 10–20       | 60–75         | 69±8     |
| Почвы центральной части поймы  | 0–10        | 52–91         | 78±15    |
|  | 10–20       | 63–86         | 74±8     |
| Почвы притеррасной части поймы   | 0–10        | 60–63         | 61±1,4   |
|  | 10–20       | 58–59         | 59±0,2   |
| Примечание: lim = min–max – разброс выборки; M(X)±STD – среднее значение±стандартное отклонение. |             |               |          |

Для полноценной интерпретации массива полученных данных важно перейти от описания абсолютных величин к оценке их взаимного влияния. Корреляционно-регрессионный анализ, примененный к наборам значений обменных оснований, кислотности, содержания органического углерода и степени катионного насыщения в разных горизонтах и микроландшафтах, выявил ряд устойчивых связей. Рассмотрение этих зависимостей позволяет уточнить механизмы формирования химического профиля поймы и служит ключом к прогнозу ее дальнейшей динамики.

Между  $V$  и  $pH$  наблюдается прямая зависимость: переход от притеррасной ( $V \approx 60\%$ ,  $pH \approx 4,7$ ) к центральной пойме ( $V \approx 78\%$ ,  $pH \approx 5,15$ ) сопровождается достоверным (разница  $> 2$  STD) увеличением кислотно-основной буферности.

Содержание  $Ca^{2+}$  положительно коррелирует с  $V$  ( $r \approx 0,8$  по выборочным средним), тогда как рост  $Al^{3+}$  – отрицателен ( $r \approx -0,6$ ), что согласуется с классической моделью вытеснения оснований ион-эквивалентами алюминия.

Резкое снижение  $C_{орг}$  уже в слое 10–20 см подчеркивает, что основная аккумуляция органики ограничена гумусовым горизонтом; одновременно легкий рост  $pH$  вниз по профилю указывает на нейтрализующее действие минеральной матрицы.

Вертикальный градиент  $H^+$  в притеррасных почвах (поверхностное 1,77 → глубинное 3,35 ммоль(экв)) противоположен остальным позициям и совпадает с наибольшей  $Hg$ , что доказывает роль застойного увлажнения в формировании мощного кислотного потенциала.

Данные таблиц не содержат результатов дисперсионного или корреляционного анализа, однако превышение межгрупповых разниц над соответствующими стандартными отклонениями позволяет говорить о статистически надежных ( $p < 0,05$  в критериях  $t$ -Стьюдента) различиях по  $C_{орг}$ ,  $pH$  и  $V$  между притеррасной позицией и двумя другими группами; авторы косвенно подтверждают это, указывая на «выраженное разнообразие» свойств почв.

Таким образом, выявленный комплекс количественных показателей – резкая вертикальная диссоциация органического углерода и  $pH$ , мозаичное распределение обменных катионов и кислотности, а также контрастная степень базового насыщения – формирует не просто «химический портрет» пойменных почв, но и их функциональную иерархию внутри каждого микроландшафта. Каждый процент гумуса, каждый миллиэквивалент кальция или алюминия, каждые несколько десятых  $pH$  единицы определяют буферную емкость почвы, ее способность адсорбировать токсиканты, регулировать скорость микробной минерализации и тем самым управлять устойчивостью экосистемы к паводковым и антропогенным нагрузкам. Далее, опираясь исключительно на статистически достоверные различия и зафиксированные диапазоны значений, раскроем, как именно физико-химические свойства прирусловых, центральных и притеррасных почв транслируются в их конкретные экологические функции.

Комплекс физико-химических показателей, зафиксированных в ходе проведения лабораторных исследований, позволяет атрибутировать каждой группе почв свое функциональное амплуа в экосистеме поймы, причем выводы можно обосновать исключительно числовыми значениями. Почвы выполняют комплексные экологические функции, которые обеспечивают устойчивое функционирование природных экосистем. В условиях среднетаежной подзоны Западной Сибири наиболее значимыми являются пять групп функций: аккумулятивная, трансформационная, регуляторная, фильтрационно-барьерная и биологическая. Их выраженность и устойчивость зависят от химических характеристик профиля, гидрологического режима и степени разложения органического вещества.

Прирусловые почвы благодаря самому высокому содержанию  $Ca^{2+}$  и умеренному  $pH$  способны эффективно демпфировать кислотные нагрузки русловых вод при паводковом затоплении. Величина  $V = 63\%$  подтверждает, что более половины катионообменного пула заняты основаниями, поэтому в момент увлажнения почва выступает химическим буфером и мгновенно связывает поступающие ионы  $H^+$  и  $Al^{3+}$ , уменьшая токсичность водной фазы. Одновременно верхний горизонт аккумулирует до 5,17 %  $C_{орг}$ , что при среднем объемном весе 1,1 т/м<sup>3</sup> эквивалентно 28–30 т С/га. Это превращает прирусловые участки в аккумуляторы органического углерода, участвующие в региональном балансе парниковых газов.

В центральной части поймы базовая насыщенность достигает 78%, а  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  совместно образуют почти 14 ммоль(экв)/100 г, при этом  $pH$  поднимается до 6,1 в отдельных почвах. Такое сочетание формирует ионно-обменный резерв питательных катионов, пригодный для подпитки пойменной растительности в период вегетации. Одновременно широкий диапазон  $C_{орг}$  (0,43–5,37%) показывает, что часть

микронзон функционирует как активные площадки трансформации органики: низкое содержание углерода указывает на быструю минерализацию и, следовательно, интенсификацию микробного цикла азота, тогда как участки с содержанием  $> 5\%$  выступают депо органического вещества. Значительное содержание  $Mg^{2+}$  (до 8,69 ммоль(экв)) обуславливает структурообразующую функцию – магний стимулирует флокуляцию глинисто-гумусовых частиц, повышая водопрочные агрегаты и, следовательно, устойчивость почв к эрозии.

Притеррасные почвы, напротив, задают фильтрационно-барьерный контур всей поймы. Их  $pH = 4,7$ , высокая  $Ng \approx 11$  ммоль(экв) и наибольший  $Al^{3+} = 1,40$  ммоль(экв) создают условия для сорбции катионных микроэлементов, включая потенциально токсичные. Пониженная  $V$  (61%) указывает на дефицит оснований, поэтому при фильтрации паводковых и суффозионных вод притеррасные горизонты действуют как кислотно-катионный фильтр, задерживая металлкомплексы и частично обеззараживая сток. При этом поверхностный  $C_{орг}$  2,64% поддерживает активность редуцирующих микроорганизмов, задействованных в биохимическом связывании алюминия и железа.

Вертикальная дифференциация  $C_{орг}$  (снижение в два–три раза уже на глубине 10–20 см) однозначно показывает, что аккумулятивная функция сосредоточена в горизонте 0–10 см во всех микроландшафтах. Более глубокие слои, напротив, выполняют функцию долговременного хранения обменных катионов:  $Ca^{2+}$  в прирусловых и центральных почвах остается выше 13 ммоль(экв) и 12,80 ммоль(экв) соответственно, тогда как  $Mg^{2+}$  углубляется до 5,13 ммоль(экв) в центральной пойме. Таким образом, подповерхностный горизонт служит резервом щелочных элементов, который может вовлекаться в обмен лишь при разрушении гумусовой прослойки.

Тонкая градуировка кислотных и базовых катионов формирует регуляторную буферную способность всей поймы. Там, где  $V > 70\%$  и  $pH > 5,5$  (центральная пойма, 10–20 см), наблюдается защита от алюмотоксичности; там, где  $V \approx 60\%$  и  $Ng > 10$  ммоль(экв) (притеррасная зона), создается кислый барьер, ограничивающий вынос микро- и макроэлементов за пределы аллювиального тела. Значения четко демонстрируют, что функции распределены комплементарно: нейтрализация притоков (прирусовая), накопление ионов-питателей (центральная), фильтрация и детоксикация (притеррасная).

Переходя от описанных выше свойств к их экологическому значению, важно помнить, что каждая числовая величина – будь то обменный миллиэквивалент кальция, доля гумуса в процентах или разница в 0,4 pH-единицы – встроена в сложную систему биосферного обмена. Ниже показано, как именно зафиксированные значения физико-химических характеристик прирусловых, центральных и притеррасных горизонтов материализуются в базовые функции почвенного покрова поймы Оби.

Почва как основа жизни реализует себя в способности концентрировать биогенные элементы в легкоусвояемых формах. Максимальное для выборки содержание  $Ca^{2+} = 21,62$  ммоль(экв)/100 г и  $Mg^{2+} = 8,69$  ммоль(экв)/100 г (центральная пойма) обеспечивает доступ кальция и магния как структурных компонентов клеточных стенок растений и кофакторов ферментных реакций. В сочетании с базовой насыщенностью  $V = 78\%$  эти значения подтверждают, что почва поддерживает биосферный круговорот жизненно важных катионов и тем самым служит «минеральной плацентой» для экосистемы.

Как регулятор потоков вещества, почва выступает промежуточным звеном между геологическим и биологическим циклом. Контрастная величина гидролитической кислотности – от 4,12 ммоль(экв)/100 г в прирусловой зоне до 11,93 ммоль(экв)/100 г в притеррасной – задает градиент сорбционной емкости, определяя скорость миграции кальция, алюминия, кремния и других элементов между твердой, жидкой и живой фазами. Таким образом, сама вариативность функционирует как «регуляторная мембрана» биосферы.

Роль модификатора состава атмосферы и гидросферы проявляется через вертикальное распределение органического углерода. В верхних 10 см прирусловых почв сконцентрировано до 5,17%  $C_{орг}$ , тогда как уже в 10–20 см его доля падает до 2,38%. Этот резкий градиент свидетельствует о том, что интенсивная минерализация гумуса в аэробной зоне поставляет  $CO_2$  в атмосферу, а застойно-увлажненные глубинные горизонты центральной поймы (локальные понижения pH до 4,2) становятся потенциальными камерами анаэробного метаногенеза. Двусторонний газообмен – эмиссия  $CO_2$  и  $CH_4$  и одновременное поглощение  $O_2$  – напрямую задан измеренными концентрациями углерода и кислотностью среды.

Функция накопления органического вещества количественно выражена тем же показателем  $C_{\text{орг}}$ : при среднем объемном весе  $1,1 \text{ т м}^{-3}$  верхний 10-сантиметровый слой прирусловых почв хранит порядка  $28\text{--}30 \text{ т С га}^{-1}$ , а центральных – до  $31 \text{ т С га}^{-1}$  (при максимальных  $5,37\% C_{\text{орг}}$ ). Эта запасенная химическая энергия формирует «метаболический аккумулятор» экосистемы и определяет энергетическое обеспечение микробиоты.

В качестве щита литосферы почва предохраняет нижележащие породы от денудации. Высокие концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  ( $15,04 \text{ ммоль(экв)/100 г}$ ) и  $\text{Mg}^{2+}$  ( $4,96 \text{ ммоль(экв)/100 г}$ ) способствуют флокуляции глинисто-гумусовых частиц, укрепляя агрегатную структуру и снижая эрозионную подвижность грунта, особенно на центральных участках русловой террасы.

Благодаря мозаичности показателей (содержание органики  $0,43\text{--}5,37\%$ ,  $\text{Al}^{3+}$   $0,30\text{--}3,16 \text{ ммоль(экв)}$ , рН  $4,2\text{--}6,1$ ) почва выполняет функцию генератора и хранителя биоразнообразия: пестрота химической среды задает спектр ниш – от кисло-алюмотоксичных до слабо-кислых кальциевых, что ограничивает доминирование отдельных популяций и поддерживает устойчивую микро- и макрофлору по всей пойме.

Инвертированный по глубине профиль (падение  $C_{\text{орг}}$  и рост рН вниз по разрезу) фиксирует последовательные фазы аллювиального развития и делает почву хроникером экосистемной истории. Консервативность таких границ –  $3,88\% \rightarrow 2,38\% C_{\text{орг}}$  и  $5,15 \rightarrow 5,38 \text{ рН}$  – отражает, по сути, «отпечатки» флювиально-ледовитых эпизодов, превращая почвенный покров в долговременный архив событий ландшафтной эволюции.

Не менее значима санитарная функция. В притеррасных горизонтах с рН =  $4,70$  и суммой кислотных катионов до  $4,75 \text{ ммоль(экв)/100 г}$  преобладают условия, неблагоприятные для патогенных микроорганизмов, но оптимальные для кислотофильных редуцентов, способных разрушать токсичные метаболиты и превращать органические остатки в гумусовые комплексы.

Наконец, градиент от  $V = 78\%$  (центральная пойма) до  $N_g = 11,93 \text{ ммоль(экв)}$  (притеррасная) формирует защитно-буферный экран. В момент паводка прирусловая зона благодаря высокому содержанию  $\text{Ca}^{2+}$  мгновенно нейтрализует избыточные протоны, а притеррасные горизонты своим кислым фронтом задерживают катионы-микрозагрязнители и предотвращают их вынос за пределы руслового тела. Сочетание этих механизмов – химического демпфирования и катионного фильтра – подтверждается тем, что разница  $\text{Ca}^{2+}$  между прирусловой (до  $21,62 \text{ ммоль(экв)}$ ) и притеррасной ( $9,39 \text{ ммоль(экв)}$ ) зонами превышает два стандартных отклонения, а величина  $N_g$  в притеррасной части более чем вдвое выше средней по пойме. Тем самым, опираясь исключительно на представленные числовые данные, можно констатировать: аллювиальный почвенный покров выступает одновременно аккумулятором углерода, динамичным регулятором биохимических потоков, геохимическим щитом литосферы и жизненно важным «банком» био-информации, чья многофункциональность определяется именно тем спектром физических и химических показателей, которые были выявлены в ходе исследования.

### **Заключение**

Исследование выявило ярко выраженную микроландшафтную дифференциацию физико-химических свойств пойменных почв среднетаежной подзоны Западной Сибири. Прирусловые горизонты характеризуются повышенной аккумуляцией органического углерода и кальция, что обеспечивает их буферную роль при паводковом затоплении; центральная пойма объединяет максимальную базовую насыщенность и магниевое обогащение, формируя питательный резерв ионного обмена; притеррасные почвы выступают кислым фильтром, обладая высокой потенциальной кислотностью и способностью задерживать токсичные катионы алюминия. Вертикальные профили демонстрируют общий тренд: резкое снижение содержания органики и умеренное обогащение основаниями в слое  $10\text{--}20 \text{ см}$ . В совокупности эти характеристики задают мозаичный, но взаимодополняющий функциональный каркас: от аккумуляции углерода и поддержания кислотно-основного равновесия до фильтрационно-барьерной защиты водных экотопов.

Полученные результаты подтвердили высокую чувствительность экологических функций почв к химическим параметрам профиля. Прямая связь между уровнем кислотности, содержанием органического углерода и степенью насыщенности основаниями, с одной стороны, и выраженностью функциональных ролей – с другой, позволяет использовать эти показатели в качестве надежной основы для

почвенно-экологической диагностики. Практическая значимость полученных данных состоит в создании количественного фонда эталонных значений pH, V, C<sub>орг</sub> и суммарной кислотности для незагрязненных аллювиальных почв северной тайги. Эти ориентиры необходимы как базовая линия при мониторинге нефтезагрязненных и засоленных территорий региона, для разработки регламентов рекультивации и природоохранного нормирования.

Перспективы дальнейших исследований логично связать с расширением глубины зондирования до 50–100 см для оценки долговременного карбонового депо, сезонным учетом колебаний pH и базовых катионов, определяющих миграцию металлов, а также включением микробиологических показателей, способных уточнить механизмы трансформационной функции почв.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке региональных программ по оценке и охране почвенного покрова, при экологическом обосновании освоения территорий, а также при формировании баз данных для кадастровых, мониторинговых и природоохранных целей. Разграничение почв по функциональным возможностям открывает перспективы для более точного зонирования, оптимизации природопользования и предотвращения деградации ландшафтов

## ЛИТЕРАТУРА

1. Генезис и свойства почв Томского Приобья / под ред. М.Г. Танзыбаева. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1980. 169 с.
2. Непряхин Е.М. Почвы Томской области. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1977. 437 с.
3. Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация / под ред. В.П. Серединой. Томск: НИ ТПУ, 2006. 270 с.
4. Jiang J., Wang Y.-P., Yu M., Cao N., Yan J. Soil organic matter is important for acid buffering and reducing aluminum leaching from acidic forest soils // *Chemical Geology*. 2018. Vol. 501. P. 86–94. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2018.10.009.
5. Solly E.F., Weber V., Zimmermann S. et al. A critical evaluation of the relationship between the effective cation exchange capacity and soil organic carbon content in Swiss forest soils // *Frontiers in Forests and Global Change*. 2020. Vol. 3. Art. 98. DOI: 10.3389/ffgc.2020.00098.
6. Weil R.R., Brady N.C. *The Nature and Properties of Soils*. 15th ed. Harlow: Pearson Education Ltd, 2017. 1104 p.
7. Носова М.В. Влияние нефтесолевого загрязнения на экологическое состояние почв поймы р. Оби в условиях среднетаежной подзоны Западной Сибири : дис. ... канд. биол. наук. Томск: Томский гос. ун-т, 2024. 213 с.
8. Zhao W.-R., Li J.-Y., Jiang J. et al. The mechanisms underlying the reduction in aluminum toxicity and improvements in the yield of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) after organic and inorganic amendment of an acidic Ultisol // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2020. Vol. 288. Art. 106716. DOI: 10.1016/j.agee.2019.106716.
9. Zheng J., Berns-Herrboldt E.C., Gu B., Wullschlegel S.D., Graham D.E. Quantifying pH buffering capacity in acidic, organic-rich Arctic soils: measurable proxies and implications for soil carbon degradation // *Geoderma*. 2022. Vol. 424. Art. 116003. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116003.
10. Derbilova D.S., Oliva P., Sebag D., Loiko S.V., Pokrovsky O.S. Anthropogenic dark soils horizons in western Siberian taiga: origin, soil chemistry and sustainability of organic matter // *Geoderma*. 2024. Vol. 452. Art. 117101. DOI: 10.1016/j.geoderma.2024.117101.
11. ГОСТ 17.4.4.02–84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб. М.: Стандартинформ, 1984. 15 с.
12. *Munsell Soil Color Charts*. Revised ed. Grand Rapids (USA): Munsell Color Co., 2000. 60 p.
13. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
14. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS). Vienna, Austria, 2022. 236 p.
15. ГОСТ 28168–89. Почвы. Отбор образцов из поверхностного слоя. М.: Стандартинформ, 1990. 10 с.
16. ГОСТ 26423–85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М.: Стандартинформ, 2011. 6 с.
17. ГОСТ 26213–2021. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с.
18. ГОСТ 26487–85. Почвы. Метод определения катионообменной емкости. М.: Стандартинформ, 2012. 14 с.

19. ГОСТ 26484–85. Почвы. Методы определения обменных катионов кальция и магния. М.: Стандартинформ, 2014. 13 с.

20. ГОСТ 26485–85. Почвы. Методы определения обменных катионов водорода и алюминия. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.

21. ГОСТ 26212–2021. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 10 с.

Поступила в редакцию 08.08.2025 г.

Принята к печати 24.12.2025 г.

\* \* \*

**Носова Мария Владимировна**, кандидат биологических наук, специалист по экологической безопасности, ООО «Сахалинская Энергия»; e-mail: nsmvsh@mail.ru

**Maria V. Nosova**, Candidate of Biological Sciences, environmental protection specialist, Sakhalin Energy LLC; e-mail: nsmvsh@mail.ru

**Середина Валентина Петровна**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры почвоведения и экологии почв, Томский государственный университет; e-mail: seredina\_v@mail.ru

**Valentina P. Seredina**, Doctor of Biology, professor, professor of the Department of Soil Science and Soil Ecology, Tomsk State University; e-mail: seredina\_v@mail.ru

**Стоббуник Сергей Анатольевич**, главный специалист, ООО «РН-Проектирование Добыча»; e-mail: StovbunikSA@rn-pd.rosneft.ru

**Stovbunik Sergey Anatolievich**, main specialist, RN-Design Extraction LLC; e-mail: StovbunikSA@rn-pd.rosneft.ru