



УДК 582.263:581.95(470+571)

Первая находка *Pseudochlorella signiensis* (Chlorophyta) на территории России

И. В. Новаковская^{1,2*}, Е. Н. Патова^{1,3}, Д. М. Шадрин^{1,4}

¹ Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, 167982, Россия

² E-mail: novakovskaya@ib.komisc.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5056-9965>

³ E-mail: patova@ib.komisc.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9418-1601>

⁴ E-mail: shdimas@yandex.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4365-0145>

* Автор для переписки

Ключевые слова: зеленые водоросли, полифазный подход, Уральские горы, характеристика штаммов, *Pseudochlorella*.

Аннотация. В данной статье приводятся сведения о зеленой микроводоросли *Pseudochlorella signiensis*. Три штамма этой водоросли были изолированы из биологических почвенных корочек горно-тундровых сообществ (Полярный и Северный Урал) и с поверхности «красного» снега (Приполярный Урал). В результате их изучения с применением световой микроскопии и молекулярно-генетических методов (анализ нуклеотидных последовательностей ITS рДНК) получены новые данные по биологии, географии и филогении вида. *Pseudochlorella signiensis* является первой находкой на территории России, подтвержденной молекулярно-генетическими методами. В ходе исследования дополнено описание и расширены представления об экологии этого таксона. Составлена и приведена его эколого-географическая характеристика.

The first discovery of *Pseudochlorella signiensis* (Chlorophyta) in Russia

I. V. Novakovskaya, E. N. Patova, D. M. Shadrin

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kommunisticheskaya St., 28, Syktyvkar, 167982, Russian Federation

Keywords: green algae, polyphasic approach, *Pseudochlorella*, strain characteristics, Ural Mountains.

Summary. This article presents information on the green microalga *Pseudochlorella signiensis*. Three strains of the alga were isolated from biological soil crusts of mountain tundra communities (Polar and Northern Urals) and from the surface of “algal blooms” snow (Subpolar Urals). New data on the biology, geography, and phylogeny of the species were obtained using light microscopy and molecular genetic methods (the nucleotide sequence analysis of ITS rDNA). Molecular studies support the first record of *P. signiensis* in Russia. The study expanded the description and ecology of this taxon. Its ecological and geographical characteristics were compiled and presented.

Введение

Pseudochlorella J. W. G. Lund – род зеленых водорослей из семейства Koliellaceae Hindák. Большинство представителей являются свободноживущими организмами, широко распространенными в различных почвенных и водных местообитаниях, тогда как некоторые виды являются фотобионтами лишайников (Guiry M. D., Guiry G. M., 2025). Водоросли одиночные или в группах (формируют клеточные пакеты), клетки сферической, широкоовальной или эллипсоидной формы до 15 мкм в длину, с одним ядром и пиреноидом без/с крахмальными зернами, а также обычно одним блюдцевидным, чашевидным или лентовидным хлоропластом. Размножение при помощи автоспор (Zeitler, 1954; Lund, 1955; Friedl, O’Kelly, 2002; Ettl, Gartner, 2014; Darienko et al., 2016). В настоящее время род включает три вида: *P. pringsheimii* (Shihira et R. W. Krauss) Darienko, Gustavs, Mudimu, C. R. Menéndez, R. Schum., U. Karst., Friedl, Pröschold, *P. pyrenoidosa* (Zeitler) J. W. G. Lund, *P. signiensis* (Friedl et O’Kelly) Darienko et Pröschold, и две разновидности (*P. signiensis* var. *magna* Darienko et Pröschold и *P. signiensis* var. *communis* Darienko et Pröschold). Существование еще одной таксономической единицы *P. subsphaerica* var. *antarctica* Broady, выделенной из почв Антарктиды (Broady, 1982; Darienko et al., 2016; Guiry M. D., Guiry G. M., 2025) требует уточнения. Данный штамм по молекулярным (последовательности ITS рДНК) и морфологическим особенностям проявил большее сходство с аутентичным штаммом SAG 18.95 *P. pyrenoidosa* (Darienko et al., 2016), который является типовым видом рода *Pseudochlorella*.

Выделение родового таксона было предложено J. W. G. Lund в 1955 г. (Lund, 1955). Типовой штамм *Pseudochlorella signiensis* был изолирован Р. А. Broady в 1979 из минеральной почвы Острова Сигни, Южные Оркнейские острова, Антарктида, и отнесен им к «Planophila вид В» (Broady, 1979; Friedl, O’Kelly, 2002; Karsten et al., 2005). Долгое время штамм SAG 7.90 находился в коллекции культур водорослей Геттингенского университета (Sammlung von Algenkulturen der Universität Göttingen) под этим наименованием. Т. Friedl и С. O’Kelly в 2002 г. при изучении морфологии, ультраструктуры и особенностей 18S рДНК штамма SAG 7.90 описали новый род *Pabia* и типовой вид *Pabia signiensis* (Friedl, O’Kelly, 2002). В 2016 г. Т. Darienko с соавторами исследовали водоросль с применением интегративного

подхода. По данным морфологии, молекулярной филогении и анализа вторичных структур штамм SAG 7.90 отнесен к роду *Pseudochlorella* и новой комбинации *P. signiensis* (Darienko et al., 2016).

Находки *Pseudochlorella signiensis* также отмечены в Германии (биоупленки на пластиковом баке и черепице, Геттинген; биологические почвенные корочки, окрестности калийных хвостохранилищ в Нижней Саксонии и Саксонии-Анхальт), Австрии (фотобионт лишайника *Trapelia coarctata* (Turner) M. Choisy, Штирия, Заузаль), Польше (на мхах, недалеко от природного заповедника «Гронды-над-Мощницей»), Украине (почва, остров Змеиный, Национальный природный парк «Гуцульщина»; биоупленки на плодовом теле гриба-трутовика, Голосеевский национальный природный парк), Китае (водная проба, нижнее течение реки Цяньтан), Намибии (биологическая почвенная корочка, природный заповедник Кнерсвлатте), Антарктиде (почва, гора Эребус) (Darienko et al., 2016; Hallmann et al., 2016; Sommer et al., 2020; Yakimovich et al., 2021; Zhang et al., 2021; Szczepocka et al., 2024; Tsarenko et al., 2024; Mikhailuyuk et al., 2025), кроме того, в базе данных GBIF отмечены находки этой водоросли в Австралии, Индии, Польше, США, Швеции, Шпицбергене, Японии из почвы, снежников, морских отложений и талломов лишайников (GBIF, 2026). Ареал обитания вида охватывает разнообразные местообитания, включая наземные и водные биотопы с широким диапазоном температур. Также, вид выступает в роли фотобионта лишайников (Darienko et al., 2016).

Согласно сводкам по водорослям (Shtina, 1997; Shtina et al., 1998; Patova, Novakovskaya, 2018; Egorova et al., 2020) и сведений базы данных (GBIF, 2026), а также анализу последовательностей, приведенных в GenBank, вид *Pseudochlorella signiensis* ранее не обнаружен на территории России. Скорее всего, это связано с трудностью идентификации этого таксона вследствие высокой фенотипической пластичности и небольшого количества характерных диагностических признаков. В данной работе рассматриваются первые находки водоросли, подтвержденные не только морфологическими, но и молекулярно-генетическими методами.

Цель работы – дополнить и обобщить сведения по морфологии, экологии, географии и филогении вида *Pseudochlorella signiensis* на основании изучения трех штаммов водоросли, вы-

деленных из горно-тундровых сообществ северных регионов Урала.

Материалы и методы

Место отбора проб. В работе исследованы три штамма *Pseudochlorella signiensis* из коллекции живых культур водорослей Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Global Catalogue of Microorganisms GCM-1125, <https://ib.komisc.ru/sykoa>). Водоросли были выделены из биологических почвенных корочек на пятнах в горно-тундровых сообществах и с поверхности «красного» снега в северных регионах Урала летом 2018, 2019 и 2022 гг. (табл. 1). Сборы почвенных водорослей выполнены общепринятыми в почвенной альгологии методами: пробы отбирали ножом в бумажные пакеты с соблюдением условий стерильности (Andersen, 2005). Каждый образец состоял из 5–6 индивидуальных проб, собранных на площади 3–5 см² и глубиной 2 см. Пробы снега отбирали в стерильные пластиковые пробирки объемом 15 мл Greiner Bio-One (Австрия), а также в чашки Петри с агаризованной средой BG-11 (Rippka et al., 1979).

Химический анализ проб почвы и снега. Анализы выполнены в Экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Методы и методики их проведения описаны ранее (Patova et al., 2018, 2023; Novakovskaya et al., 2022).

Исследование морфологии. В лабораторных условиях для изучения морфологических особенностей клеток получены монокультуры, которые были выращены на жидкой и агаризованной среде BG-11. Штаммы хранятся в холо-

дильной камере при освещенности – 45 мкмоль м⁻²с⁻¹ ФАР (фитолампа Uniell ULI-P11-35W/SPFR IP40 WHITE, Китай), период 12 : 12 ч (день/ночь), температуре 10 ± 2 °С. Морфология водорослей изучена на световом микроскопе Nikon Eclipse 80 i (Nikon, Япония) с системой дифференциального интерференционного контраста (ДИК) и видеофиксации изображений при увеличениях ×40 и ×100. Микрофотографии выполнены с помощью камеры Nikon DS-2Mv (Nikon, Япония). Идентификацию видов проводили с привлечением обзорных статей (Friedl, O’Kelly, 2002; Darienko et al., 2016). Таксономия и номенклатура водорослей приведены по AlgaeBase (Guiry M. D., Guiry G. M., 2025), фитогеографические характеристики – по статьям (Broady, 1979; Friedl, O’Kelly, 2002; Karsten et al., 2005; Darienko et al., 2016; Hallmann et al., 2016; Sommer et al., 2020; Yakimovich et al., 2021; Zhang et al., 2021; Szczepocka et al., 2024; Tsarenko et al., 2024; Mikhailyuk et al., 2025), а также данным AlgaeBase и GBIF (Guiry M. D., Guiry G. M., 2025; GBIF, 2026). Для определения ширины и длины клеток использовали систему анализа изображений (AxioVision): у исследованных штаммов для каждой стадии (молодые, вегетативные и старые клетки) выполняли 50 независимых измерений, после чего рассчитывали средние, максимальные и минимальные значения.

Выделение ДНК и ПЦР. ДНК выделяли из двухнедельных культур штаммов с помощью набора FastDNASpinKit (QBioGene, Канада) в соответствии с инструкциями производителя и хранили при температуре –20 °С до использования. Амплификацию ДНК последовательностей проводили в 25 мкл реакционной смеси, содержа-

Таблица 1. Характеристика мест отбора штаммов *Pseudochlorella signiensis*

Штамм	Место сбора	Координаты, высота
SYKOA Ch-128-18	Пятнистая кустарничково-лишайниковая тундра, гора Пеленер, Северный Урал, 2018	63°23′073″ с. ш. 58°54′20,7″ в. д., 803 м над ур. м.
SYKOA Ch-187-22	Травяно-кустарничково-дриадовая тундра, около хребта Оченыр, Полярный Урал, 2022	67°54′724″ с. ш. 65°30′561″ в. д., 210 м над ур. м.
SYKOA Ch-134-19	Красный снег, снежник, хребет Малдыныр, Приполярный Урал, 2019	65°12′47,29″ с. ш. 60°13′36,94″ в. д., 768 м над ур. м.

щей 5 мкл ScreenMix (Евроген, Россия), по 5 мкл каждого праймера (конечная концентрация 0,3 мкМ) (Евроген, Россия), 9 мкл воды без нуклеаз и 1 мкл ДНК (10–100 нг). Амплификацию проводили с использованием праймеров для ITS (ITS5 5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3' и ITS4 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3', White et al., 1990). Условия ПЦР включали: предварительную денатурацию при 95 °С в течение 5 мин; далее 35 циклов: 94 °С – 30 с, 55 °С – 30 с и 72 °С – 1 мин; окончательная элонгация при 72 °С – 5 мин. Продукты ПЦР после электрофореза в 1 % агарозном геле, окрашенном красителем Safe Green Stain, визуализировали на трансиллюминаторе синего света SuperRay Maxi с системой гель-документации (APGENA, Россия). Продукты ПЦР очищали от агарозного геля с помощью набора «ColGen» (Синтол, Россия). Концентрацию ДНК и ПЦР продуктов измеряли на флуориметре Qubit 3 (Invitrogen, США). Секвенирование проводили на базе Центра коллективного пользования «Молекулярная биология» Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук с использованием набора реагентов «GENSEQ» на приборе НАНОФОР 05 (Синтол, Россия).

Филогенетический анализ. Одиннадцать последовательностей ITS рДНК представителей рода *Pseudochlorella* были извлечены из GenBank (BLAST, NCBI, 2025) для филогенетического анализа. В качестве внешней группы выбран *Koliella sempervirens* CCALA 363. Выравнивание последовательностей с использованием алгоритма ClustalW и реконструкцию филогенетических деревьев методом максимального правдоподобия (ML) с параметрами по умолчанию производили в программе MEGA X (Kumar et al., 2018). Бутстреп поддержка – 1000 повторений.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования изучены три штамма зеленой водоросли *Pseudochlorella signiensis*, которые были изолированы из биологических почвенных корочек горно-тундровых сообществ Полярного и Северного Урала, а также с поверхности «красного» снега Приполярного Урала. *Pseudochlorella* × *signiensis* (Friedl et O'Kelly) Darienko et Pröschold (Koliellaceae): «Республика Коми, Северный Урал, гора Пеленер, пятнистая кустарничково-лишайниковая тундра, биологическая почвенная корочка, 803 м над ур. м., 63°23'073" с. ш. 58°54'20,7" в. д. VII 2018.

И. В. Новаковская, Е. Н. Патова» (SYKOA Ch-128-18); «Республика Коми, Полярный Урал, около хребта Оченыр, травяно-кустарничково-дриадовая тундра, биологическая почвенная корочка, 210 м над ур. м., 67°54'724" с. ш. 65°30'561" в. д. VII 2022. И. В. Новаковская, Е. Н. Патова» (SYKOA Ch-187-22); «Республика Коми, Приполярный Урал, хребет Малдыныр, снежник, красный снег, 2019, 768 м над ур. м., 65°12'47,29" с. ш. 60°13'36,94" в. д. VII 2022. И. В. Новаковская, Е. Н. Патова» (SYKOA Ch-134-19).

Морфологическая характеристика исследованных штаммов. Клетки овальной или широкоэллипсоидной (1,7)3–5(6,3) × (2,5)4–6(7,5) формы, редко сферической (диаметром 4–6 мкм), обычно одиночные (табл. 2; рис. 1–3). Часто в культуре отмечали группы по две клетки, оставшиеся прикрепленными после вегетативного деления клеток, иногда с делением во второй плоскости перед разделением первых двух дочерних клеток (рис. 1С; 2D; 3С). Хлоропласт пристенный, корытообразный. Один хорошо заметный пиреноид с крахмальной оберткой из нескольких зерен (табл. 2; рис. 1–3А). Оболочка у всех исследованных штаммов ослизняется и утолщается с возрастом (1Н, I; 2J–L; 3I–J). Размножение с помощью (2)4–8(16) автоспор, автоспорангии до 16 мкм (табл. 2; рис. 1D, E; 2E–G; 3D–F). Старые клетки широкоэллипсоидной формы, грушевидной, иногда сферической, до 16,5 мкм ширины и 19,5 мкм длины (рис. 1F–I; 2H–L; 3G–J). В клетках иногда встречаются крупные вакуоли (1–2) (табл. 2; рис. 1Н; 2L; 3I).

По морфологическим особенностям исследованные штаммы отличаются по размерам. Старые клетки штамма SYKOA Ch-128-18 несколько крупнее и могут достигать в ширину до 16,5 мкм и в длину до 19,5 мкм. Клетки SYKOA Ch-134-19 и SYKOA Ch-187-22 были примерно одинакового размера: 5–10 × 5,3–12,5 мкм и 5–9,2 × 5,2–12,8 мкм, соответственно. По данным литературы, старые клетки *Pseudochlorella signiensis* достигают 14,6 мкм (Darienko et al., 2016). Полученные в ходе исследования результаты дополняют размерные признаки вида. Кроме того, у исследованных штаммов обнаружены старые клетки грушевидной формы (рис. 1Н; 2I, J, L; 3G) и автоспорангии с 16 автоспорами (рис. 1E; 2E; 3D, E), что ранее в литературе также не было отмечено (Friedl, O'Kelly, 2002; Darienko et al., 2016).

По морфологическим признакам вид *Pseudochlorella signiensis* отличается от видов рода

Pseudochlorella наличием автоспорангиев с 2–16 автоспорами и размерами клеток (до 19,5 мкм). *Pseudochlorella pringsheimii* характеризуется наличием автоспорангиев с 2–64 автоспорами (Shihira, Krauss, 1965; Punčochárová, 1994), а *P. pyrenoidosa* имеет более мелкие размеры клеток – до 12 мкм (Zeitler, 1954; Lund, 1955; Ettl, Gartner, 2014).

Последовательности GenBank: SYKOA Ch-128-18 – PV439813; SYKOA Ch-187-22 – PV439815 и SYKOA Ch-134-19 – PV439814 (ITS рДНК).

Филогенетический анализ. Сравнение нуклеотидных последовательностей ITS рДНК водорослей *Pseudochlorella signiensis* штаммов SYKOA Ch-128-18, SYKOA Ch-187-22 и SYKOA Ch-134-19 между собой не выявило различий. Наибольшее сходство полученных последова-

тельностью отмечено с конспецифичным штаммом SAG 3.80, с которым они на филогенетическом древе с высокой поддержкой (100 %) объединились в одну подкладу (рис. 4). SAG 3.80 был изолирован Е. Tschermak-Woess в 1978 г. из таллома лишайника *Trapelia coarctata* и по морфологическим признакам идентифицирован как *Pseudochlorella pringsheimii*. Позднее Т. Darienko et al. (2016) переописали его как *Pseudochlorella signiensis*. Как видно на рисунке 4, все анализируемые последовательности штаммов *P. signiensis* образовали отдельную кладу с высокой поддержкой (100 %). Таким образом, проведенный филогенетический анализ подтвердил принадлежность изученных штаммов SYKOA Ch-128-18, SYKOA Ch-187-22 и SYKOA Ch-134-19 к виду *P. signiensis*.

Таблица 2. Морфологические особенности штаммов *Pseudochlorella signiensis*

Характеристика	<i>Pseudochlorella signiensis</i> (Darienko et al., 2016)	SYKOA Ch-128-18	SYKOA Ch-187-22	SYKOA Ch-134-19
Форма вегетативных клеток	Овальная, широко продолговатая, неправильно эллипсоидная	Овальная, широко эллипсоидная, сферическая	Овальная, широко эллипсоидная, сферическая	Овальная, широко эллипсоидная, сферическая
Форма молодых клеток	Овальная			
Форма хлоропласта	Широкий поясковидный, корытовидный	Широкий поясковидный, корытовидный	Широкий поясковидный, корытовидный	Широкий поясковидный, корытовидный
Пиреноид	Один, с крахмальными зернами или без крахмальных зерен	Один шаровидный, с крахмальной оберткой из нескольких зерен	Один шаровидный, с крахмальной оберткой из нескольких зерен	Один шаровидный, с крахмальной оберткой из нескольких зерен
Вакуоли	Нет сведений	+	+	+
Слизь	+	+	+	+
Клеточные пакеты	Иногда встречаются			
Размер клеток, молодых и вегетативных (мкм)	2,1–4,5 × 6,7–9,4	2,2–5,8 × 2,5–7,2	2,5–5,7 × 2,7–6,7	1,7–6,3 × 2,5–7,5
Размер старых клеток (мкм)	8,3 × 12,5–14,6	5–16,5 × 5,7–19,5	5–9,2 × 5,2–12,8	5–10 × 5,3–12,5
Размеры автоспорангия (мкм)	Нет сведений	до 15,5	до 15	до 16

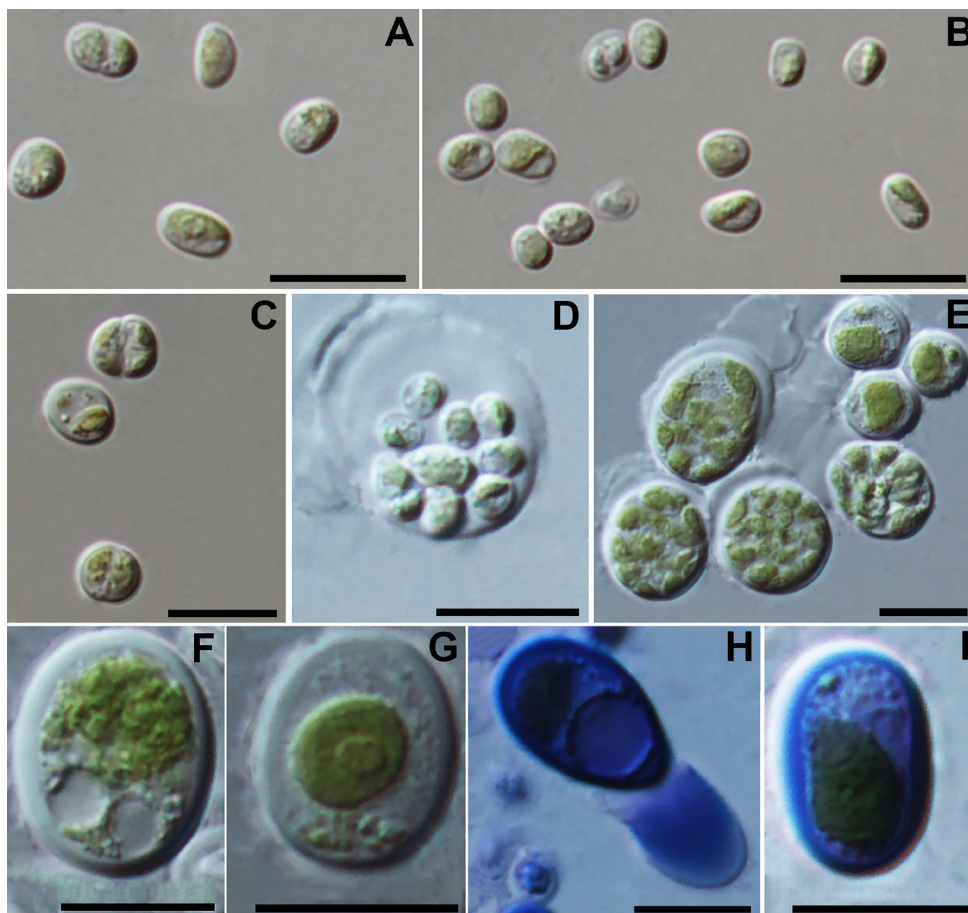


Рис. 1. *Pseudochlorella signiensis* (штамм SYKOA Ch-128-18): А, В – вегетативные клетки; С – комплексы из 2 и 4 клеток; D, E – автоспорангии; F–I – старые клетки; H – старая клетка с остатками растворенной клеточной стенки, окрашенной метиленовым синим; I – старая клетка с ослизненной оболочкой (окрашена метиленовым синим). Шкала 10 мкм.

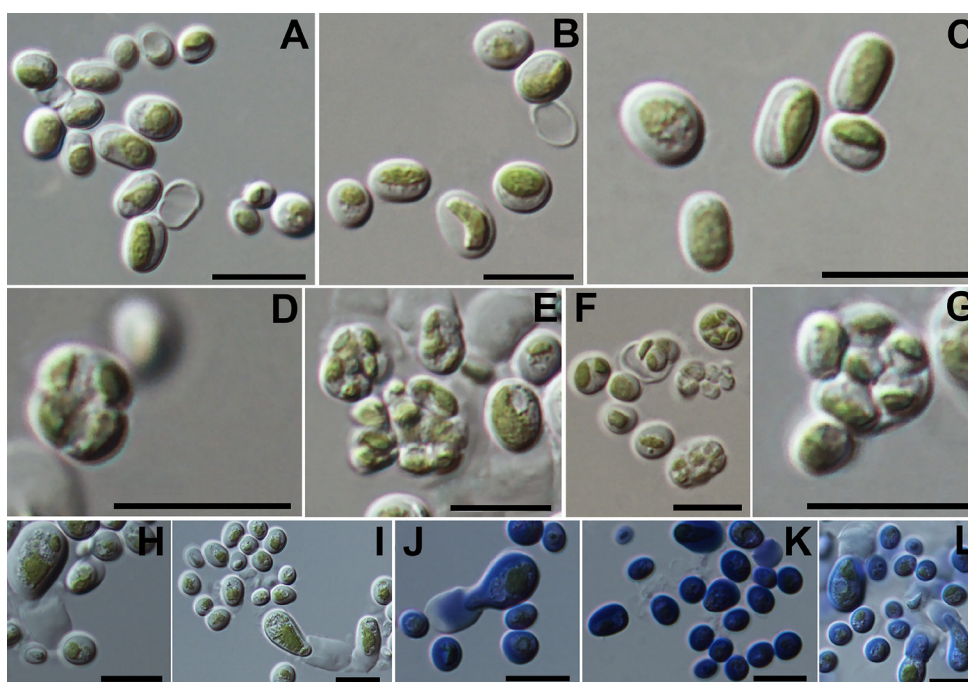


Рис. 2. *Pseudochlorella signiensis* (штамм SYKOA Ch-187-22): А–С – вегетативные клетки; D – комплекс из 4 клеток; E–G – автоспорангии; H–L – старые клетки; J–L – старые клетки с ослизненной оболочкой и с остатками растворенной клеточной стенки, окрашенные метиленовым синим. Шкала 10 мкм.

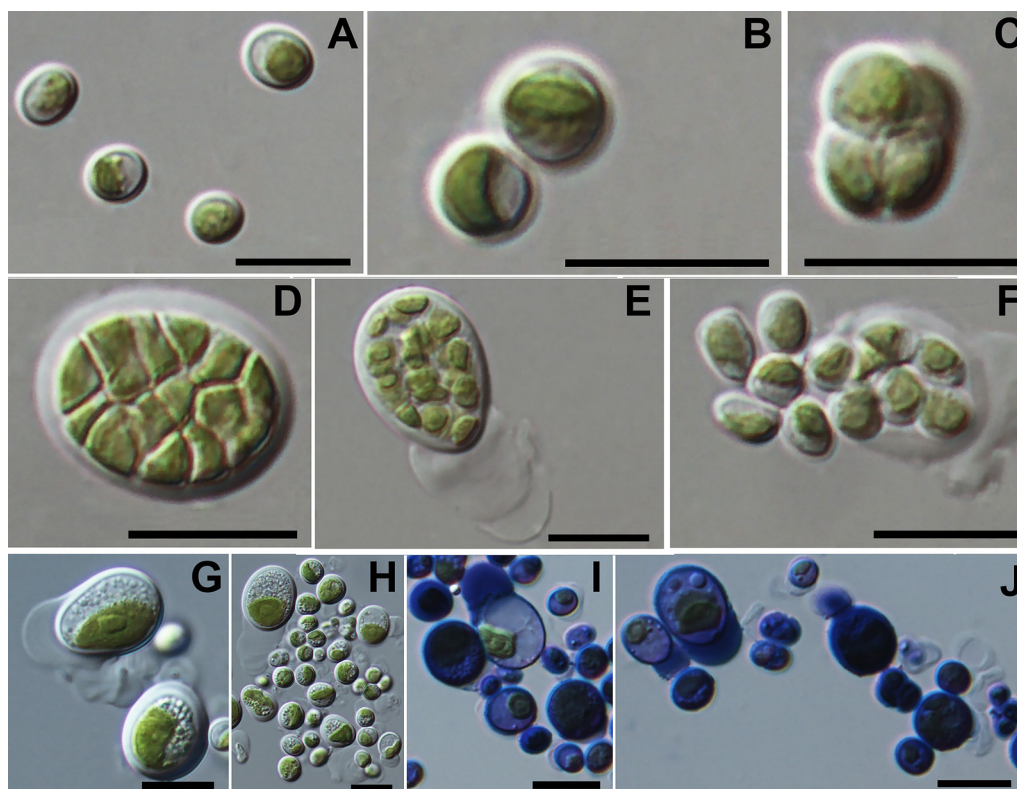


Рис. 3. *Pseudochlorella signiensis* (штамм SYKOA Ch-134-19): А, В – вегетативные клетки; С – комплекс из 4 клеток; D–F – автоспорангии; G–J – старые клетки; I–J – старые клетки с ослизненной оболочкой и с остатками растворенной клеточной стенки, окрашенные метиленовым синим. Шкала 10 мкм.

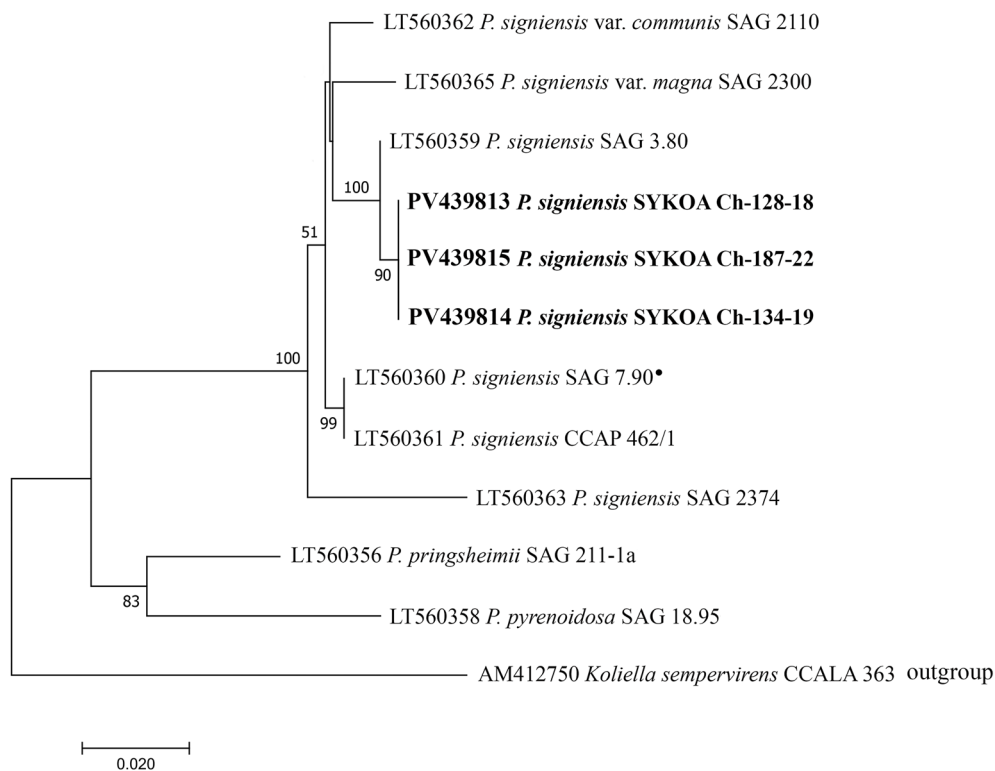


Рис. 4. Филогенетическое древо *Pseudochlorella*, построенное методом ML на основе последовательностей ITS рДНК. На узлах показана бутстреп-поддержка ($\geq 50\%$); * – типовой штамм.

Эколого-географическая характеристика исследованных штаммов. Штаммы *Pseudochlorella signiensis* были выделены из наземных местообитаний с контрастными условиями экологических факторов. Так, температура на поверхности биологических почвенных корочек в летние периоды в течении суток может изменяться от 3,5 до 32,5 °С, влажность почвы – от 10 до 55 %. Температура на поверхности снега от –4,0 до –1,5 °С. Для изученных местообитаний отмечен широкий диапазон кислотности среды, невысокое содержание азота, фосфора и других биогенных элементов (табл. 3, 4).

С учетом результатов исследования, анализа литературных данных (Broady, 1979; Friedl, O’Kelly, 2002; Karsten et al., 2005; Darienko et

al., 2016; Hallmann et al., 2016; Sommer et al., 2020; Yakimovich et al., 2021; Zhang et al., 2021; Szczepocka et al., 2024; Tsarenko et al., 2024; Mikhailyuk et al., 2025), а также сведений, которые приведены в AlgaeBase и GBIF (Guiry M. D., Guiry G. M., 2025; GBIF, 2026), можно дополнить эколого-географическую характеристику вида *Pseudochlorella signiensis*:

– по экологической приуроченности: вид можно отнести к эвритоным организмам, так как он выявлен из наземных, почвенных, аэрофильных условий, является эпифитом, а также фотобионтом лишайников, может обитать на поверхности снега и в водной среде;

– по приуроченности к местообитанию: обитает на почве, мхах, камнях, сухих скалах, искус-

Таблица 3. Химические свойства горно-тундровых почв (0–5 см горизонт), из которых были изолированы пробы с исследованными штаммами *Pseudochlorella signiensis* (SYKOA Ch-128-18 и SYKOA Ch-187-22)

Показатели	Северный Урал, 2016	Полярный Урал, 2022
pH (вод.), единицы	4,96 ± 0,10	7,78 ± 0,20
pH (сол.), единицы	3,90 ± 0,10	6,77 ± 0,20
Ca (обм.), мг/кг	134 ± 22	1800 ± 400
Mg (обм.), мг/кг	26,4 ± 4,8	120 ± 23
Na (обм.), мг/кг	< 0,5	< 4,5
P ₂ O ₅ (подв.), мг/кг	31 ± 6	10 ± 2
K ₂ O (подв.), мг/кг	60 ± 12	80 ± 12
N, %	0,090 ± 0,018	0,062 ± 0,012
C, %	0,93 ± 0,21	1,6 ± 0,4

Таблица 4. Химические свойства «красного снега», из которого был изолирован штамм *Pseudochlorella signiensis* (SYKOA Ch-134-19)

Показатели	Приполярный Урал, 2019
pH, единицы	5,70 ± 0,20
N _{общ.} , мг/дм ³	1,01 ± 0,18
Ca, мг/дм ³	< 0,050
Mg, мг/дм ³	< 0,050
Na, мг/дм ³	0,111 ± 0,027
K, мг/дм ³	0,418 ± 0,10

ственных субстратах (заборы, стены), плодовых телах грибов-трутовиков, поверхности снега, в толще воды;

– по географической приуроченности: вероятно, является космополитом (обнаружен в Австралии, Антарктиде, Северной Америке, Африке и Евразии);

– по отношению к кислотности среды: индифферентный;

– по отношению к температуре: эвритермный.

Заключение

На основе морфологического и молекулярно-филогенетического анализа подтверждена систематическая принадлежность исследован-

ных штаммов к *Pseudochlorella signiensis*. Получены новые данные по морфологии вида, дополнены диагностические признаки таксона. Расширены представления об экологии вида: впервые отмечен в криофильных условиях, а также при широком диапазоне кислотности среды, что позволило отнести его к видам индифферентам. Дополнены сведения о распространении водоросли: вид впервые отмечен в наземных экосистемах северных регионов Урала и является новым видом для России, описанным с применением интегративного подхода.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 125021902460-2.

REFERENCES / ЛИТЕРАТУРА

- Andersen R. A.** 2005. *Algal Culturing Techniques*. N. Y.: Elsevier Science. 589 pp.
- BLAST, NCBI** [2025]. *Basic Local Alignment Search Tool*. URL: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (Accessed 20 March 2025).
- Broady P. A.** 1979. The terrestrial algae of Signy Island, South Orkney Islands. *Br. Antarct. Surv. Sci. Rep.* 98: 1–117.
- Broady P. A.** 1982. New records of chlorophycean microalgae cultured from Antarctic terrestrial habitats. *Nova Hedwigia* 36: 445–84.
- Darienko T., Gustavs L., Pröschold T.** 2016. Species concept and nomenclatural changes within the genera *Elliptochloris* and *Pseudochlorella* (Trebouxiophyceae) based on an integrative approach. *J. Phycol.* 52(6): 1125–1145. <https://doi.org/10.1111/jpy.12481>
- Egorova I. N., Sudakova E. A., Maksimova E. N., Tupikova G. S.** 2020. Terrestrial algae of the mountains of South Siberia and North Mongolia. *Bot. Zhurn.* 105(2): 107–132. [In Russian] (**Егорова И. Н., Судакова Е. А., Максимова Е. Н., Туникова Г. С.** Наземные водоросли гор Южной Сибири и Северной Монголии // *Бот. журн.*, 2020. Т. 105, № 2. С. 107–132). <https://doi.org/10.31857/S0006813620020027>
- Ettl H., Gartner G.** 2014. *Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. 2 Aufl.* Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. 773 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39462-1>
- Friedl T., O’Kelly C.** 2002. Phylogenetic relationships of green algae assigned to the genus *Planophila* (Chlorophyta): evidence from 18S rDNA sequence data and ultrastructure. *Eur. J. Phycol.* 37: 373–384. <https://doi.org/10.1017/S0967026202003712>
- GBIF** [2026]. *The Global Biodiversity Information Facility*. URL: <https://www.gbif.org/> (Accessed 16 January 2026). <https://doi.org/10.15468/dl.a9xaw8>
- Guiry M. D., Guiry G. M.** 2025. *AlgaeBase. World-wide electronic publication*. Galway: National University of Ireland. URL: <http://www.algaebase.org> (Accessed 31 March 2025).
- Hallmann C., Hoppert M., Mudimu O., Friedl T.** 2016. Biodiversity of green algae covering artificial hard substrate surfaces in a suburban environment: a case study using molecular approaches. *J. Phycol.* 52(5): 732–744. <https://doi.org/10.1111/jpy.12437-14-164>
- Karsten U., Friedl T., Schumann R., Hoyer K., Lembcke S.** 2005. Mycosporine-like amino acids and phylogenies in green algae: *Prasiola* and its relatives from the Trebouxiophyceae (Chlorophyta). *J. Phycol.* 41: 557–566. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.00081.x>
- Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K.** 2018. MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Mol. Biol. Evol.* 35(6): 1547–1549. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy096>
- Lund J. W. G.** 1955. *Pseudochlorella* nov. nom. *Österr. Bot. Z.* 102: 104. <https://doi.org/10.1007/BF01768767>
- MEGA X.** 2025. URL: <http://www.megasoftware.net> (Accessed 20 March 2025).
- Mikhailyuk T. I., Vinogradova O. M., Demchenko E. M.** 2025. Terrestrial algae and cyanobacteria of the Holsiiv National Nature Park (Kyiv, Ukraine), with the description of *Leptochlorella arboricola* sp. nov. (Trebouxiophyceae, Chlorophyta). *Ukrain. Bot. J.* 82(1): 3–28. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.01.003>

Novakovskaya I. V., Patova E. N., Makeeva E. G. 2022. Snow algae and cyanobacteria in several regions of the Urals and the Western Sayan. *Theoretical and Applied Ecology* 3: 149–156. [In Russian] (**Новаковская И. В., Патова Е. Н., Макеева Е. Г.** Снежные водоросли и цианобактерии ряда районов Урала и Западного Саяна // Теоретическая и прикладная экология, 2022. № 3. С. 149–156). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-149-156>

Patova E. N., Novakovskaya I. V. 2018. Soil algae of the northeast of the European part of Russia. *Novosti Sist. Nizsh. Rast.* 52(2): 311–353. [In Russian] (**Патова Е. Н., Новаковская И. В.** Почвенные водоросли северо-востока европейской части России // Новости сист. низш. раст., 2018. Т. 52, № 2. С. 311–353).

Patova E. N., Novakovskaya I. V., Deneva S. V. 2018. Influence of edaphic and orographic factors on the diversity of algae communities of biological soil crusts on medallion spots of the Polar and Subpolar Urals. *Eurasian Soil Science* 3: 318–330. [In Russian] (**Патова Е. Н., Новаковская И. В., Денева С. В.** Влияние эдафических и орографических факторов на разнообразие водорослевых сообществ биологических почвенных корочек на пятнах-медальонах Полярного и Приполярного Урала // Почвоведение, 2018. № 3. С. 318–330). <https://doi.org/10.7868/S0032180X18030061>

Patova E. N., Novakovskaya I. V., Sivkov M. D. 2023. Cyanobacteria and algae in biological soil crusts of frost boils in the mountainous tundra of the Urals. *Eurasian Soil Science* 56(2): 184–197. [In Russian] (**Патова Е. Н., Новаковская И. В., Сивков М. Д.** Цианобактерии и водоросли биологических почвенных корок пятен-медальонов горных тундр Урала // Почвоведение, 2023. Т. 56, № 2. С. 211–225). <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601001>

Punčochárová M. 1994. A taxonomic study of two *Chlorella* strains. *Arch. Protistenkd.* 144: 237–247. [https://doi.org/10.1016/s0003-9365\(11\)80135-1](https://doi.org/10.1016/s0003-9365(11)80135-1)

Rippka R., Deruelles J., Waterbury J. B., Herdman M., Stanier R. Y. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *J. Gen. Microbiol.* 111(1): 1–61. <https://doi.org/10.1099/00221287-111-1-1>

Shihira I., Krauss K. K. 1965. *Chlorella, Physiology and Taxonomy of Forty-one Isolates*. Maryland: University of Maryland, College Park. 97 pp.

Shtina E. A. 1997. *Flora vodorosley basseyna reki Vyatki [Flora of algae of the Vyatka River basin]*. Kirov: Kirov regional printing house. 96 pp. [In Russian] (**Штина Э. А.** Флора водорослей бассейна реки Вятки. Киров: Кировская областная типография, 1997. 96 с.).

Shtina E. A., Kabirov R. R., Khaibullina L. S., Gaisina L. A., Fazlutdinova A. I., Sugachkova E. V. 1998. *Spisok vodorosley, obnaruzhennykh v pochvakh na territorii byvshego SSSR [List of algae found in soils on the territory of the former USSR]*. Deposit in VINITI 18 XII 98, No. 3759–B98. Ufa. 33 pp. [In Russian] (**Штина Э. А., Кабиров Р. Р., Хайбуллина Л. С., Фазлутдинова А. И., Сугачкова Е. В.** Список водорослей, обнаруженных в почвах на территории бывшего СССР. Деп. в ВИНТИ 18 XII 1998, № 3759–B98. Уфа, 1998. 33 с.).

Sommer V., Mikhailiuk T., Glaser K., Karsten U. 2020. Uncovering unique green algae and cyanobacteria isolated from biocrusts in highly saline potash tailing pile habitats, using an integrative approach. *Microorganisms* 8: 1667. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111667>

Szczepocka E., Nowicka-Krawczyk P., Wolski G. J. 2024. Terrestrial mosses as a substrate and potential host for cyanobacteria, green algae and diatoms. *J. Pl. Res.* 137: 847–861. <https://doi.org/10.1007/s10265-024-01551-2>

Tsarenko P. M., Mykhailiuk T. I., Burova O. V., Borisova O. V., Lilitska H. G., Demchenko E. M. 2024. *Prodromus of spore plants of Ukraine: algae*. Book 2. Kyiv: Naukova Dumka. 681 pp. <https://doi.org/10.15407/978-966-00-1954-6>

White T. J., Bruns T., Lee S., Taylor J. W. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky, T. J. White (eds.). *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. New York: Academic Press. Pp. 315–322. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1>

Yakimovich K. M., Gauthier N. P. G., Engstrom C. B., Leya T., Quarmby L. M. 2021. A molecular analysis of microalgae from around the globe to revise *Raphidonema* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta). *J. Phycol.* 57(5): 1419–1432. <https://doi.org/10.1111/jpy.13183>

Zhang A. J., Wang J., Hao Y. B., Xiao S. S., Luo W., Wang G. X., Zhou Z. M. 2021. Community characteristics analysis of eukaryotic microplankton via ITS gene metabarcoding based on environmental DNA in lower reaches of Qiantang river, China. *Open J. Anim. Sci.* 11: 105–124. <https://doi.org/10.4236/ojas.2021.112009>

Zeitler I. 1954. Untersuchungen fiber die Morphologie, Entwicklungsgesehiehte und Systematik yon Fleehtengonidien. *Österr. Bot. Z.* 101: 453–487. <https://doi.org/10.1007/BF01284364>