

Диатомовые водоросли в почвообразовании© 2016. В. С. Артамонова¹, в. н. с., С. Б. Бортникова², профессор, гл. н. с.,¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2,²Институт нефтегазовой геологии им. А. А. Трофимука, СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3,
e-mail: artamonova@issa.nsc.ru, bortnikovasb@ipgg.sbras.ru

В работе приводится обзор литературы об участии пресноводных диатомовых водорослей в образовании почв в геологически отдалённые эпохи и в настоящее время, обсуждается современное состояние изученности места диатомей в экстремальных условиях почвообразования, приводится перечень основных определений, используемых при характеристике древних и современных почвенных сред обитания водорослей.

В статье изложены представления авторов о почвообразовании как одном из ведущих биосферных механизмов. В его истории большое внимание уделяется роли пресноводных диатомовых водорослей в формировании осадочных пород и сапропелевых кор выветривания. Продемонстрирована связь между развитием диатомей в прошлые эпохи и формированием современных почв. Приводятся сведения о развитии диатомовых водорослей в голоценовых почвах на территории Европейской части России, в Западной Сибири, Крайнем Севере. Акцентируется внимание на развитие водорослей в гидроморфных и автоморфных условиях почвообразования. Уделяется внимание присутствию диатомовых водорослей в подводных почвах – сапропелях и смежных почвах межтривных повышений. Подчеркивается важность активного роста диатомовых водорослей в нарушенных подзолистых почвах реликтовых экосистем, быстрого воспроизводства клеток в мелкозёме молодых техногенных почв.

Высказывается предположение о возможном позитивном влиянии останков ископаемых диатомей, присутствующих во вскрышных и вмещающих породах в районах угледобычи на развитие современных диатомовых. Обсуждаются способы выживания водорослей в криогенных и погребённых почвах. Особое внимание авторы уделяют обоснованию своих позиций в отношении терминов, используемых при обсуждении палеопочв. Приводится расшифровка отечественных и международных понятий, применяемых в палеопочвоведении.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, почва, кремнезём, голоцен, погребённая почва, лёд.

The diatoms algae in soil-formingV. S. Artamonova¹, S. B. Bortnikova²,¹Institute of Soil Science and Agrochemistry Siberian
Branch Russian Academy of Science,
8/2 pr. Lavrentieva, Novosibirsk, Russia, 630090,²Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
3 Koptug pr., Novosibirsk, Russia, 630090,
e-mail: artamonova@issa.nsc.ru, bortnikovasb@ipgg.sbras.ru

The paper provides an overview on the participation of freshwater diatoms in the formation of soil in geologically remote epochs and currently; the current state of knowledge of the place of diatoms in the extreme conditions of soil formation are discussed. A list of basic definitions used in the characterization of ancient and modern soil algae habitats is given.

The article describes the authors' view on soil formation as a one of the leading mechanisms of biosphere. Great attention is paid to the role of freshwater diatoms in the formation of sedimentary rocks and weathering sapropels. A relationship between the development of diatoms in the previous periods and the formation of modern soils is shown. The data on the development of diatoms in the Holocene soils in the European part of Russia, in Western Siberia, and in the Far North are presented. The attention is focused on the development of algae in hydromorphic and automorphic soil conditions as well as on the presence of diatoms in underwater soils, such as sapropel soils and the adjacent intermane increases. The importance of active growth of diatoms in disturbed podzolic soils of relict ecosystems, as well as of rapid reproduction of cells in the fine earth young man-made soils is underlined.

It is supposed that diatoms fossil remains in the overburden and host rocks of coal mining possibly have a positive effect on the vegetation on the modern of diatoms. The methods of seaweed survival in cryogenic and buried soils are discussed. The authors focus on justifying their position concerning the terms used in the discussion of paleosoils. The transcript of domestic and international concepts used in paleopedology is given.

Keywords: diatoms algae, soil, silica, Holocene, buried soil, ice.

Педосфера – это оболочка высокой концентрации и разнообразия жизни на планете Земля [1]. Её обитатели являются связующим звеном биологического и геологического круговорота веществ. Особенно интересны в этом отношении пресноводные диатомовые водоросли (Bacillariophyta), которые в древние времена колонизировали сушу, участвовали в формировании подводных, болотных, сухопутных почв [2–4]. В настоящее время ископаемые диатомей можно встретить в древних почвах, а их современных потомков – в разновозрастных голоценовых.

Основные вехи эволюции диатомовых водорослей совпадают с историей биосферы и со временем появления той или иной формы почвообразования: гидрозёмной, атмосферной, литозёмной. Наиболее «продвинутые» водоросли – пеннатные (перистые) виды, появились в позднем мелу и стали постоянными обитателями голоцена. Панцири, живые и жизнеспособные особи этих диатомей можно встретить как в зональных почвах, так и в самобытных, сохранивших реликтовые признаки. Присутствие покоящихся форм диатомовых водорослей регистрируется в погребённых человеком культурозёмах, в ледовых образованиях криосолей. Жизнедеятельные особи встречаются прежде всего в дневных почвах, в том числе эмбриозёмах, урбанозёмах, а также подводных почвах – сапропелях. Можно предположить, что современные пресноводные диатомовые водоросли функционируют в почвоподобных телах и молодых почвах не случайно, эта способность «унаследована» ими ещё в геологическом прошлом. Для подтверждения участия диатомовых водорослей в почвообразовании в древние времена и в голоцене был проведён обзор литературы. Работа также продиктована повышенным вниманием к этой группе педобиоты в связи с поиском индикаторов условий былого почвообразования, включая места былых поселений и погребений человека.

Палеонтологические исследования осадконакопления подтверждают вовлечение массовых скоплений диатомовых водорослей в процессы формирования осадочных пород, в частности диатомита и сапропелевых кор

выветривания [5]. Детритовый мел (в меловой и третичный периоды) постепенно обескарбоначивался и преобразовывался в кремниевые глины. Они служили основой подстилающих пород будущих почв. В частности, на геологически молодых отложениях детрита, богатых останками диатомей, в присутствии слюды, под лесной растительностью сформировались почвы: глейсоли и флювисоли [6]. Сапропелевые коры выветривания трансформировались в присутствии кварцевых пород в схожее геологическое время, и в местах их расположения образовались ферральсоли, плинтосоли, акриосоли, ареносоли, подзолы, а вблизи обводнённых территорий – гистосоли.

В голоценовых почвах диатомовые водоросли не утратили древнюю способность использовать Si, Al, Fe, Mg в построении панциря, сохранив своё активное участие в биологической миграции этих элементов. Хотя произошло изменение биологического круговорота в направлении вовлечения в него P, S, Ca.

Преимущественное накопление диатомеями аморфного кремнезёма ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) в створках панциря, плотность которого достигает 2,07, обеспечивает временную иммобилизацию кремния и других биогенных элементов в живых особях и их останках (в литературе можно встретить схожие по смыслу термины – опад, фитолиты, опал). Мелкодисперсные фрагменты могут концентрироваться в илистой фракции почв [7], образовывать опал [8]. Неминерализованные фрагменты панциря в комплексе с мелкими частицами глинистых минералов могут сорбировать ионы и тем самым влиять на обменную поглотительную способность почв [9]. Биогенный кремнезём в почвах подвергается растворению либо кристаллизации с преобразованием во вторичный кварц. Наибольшую устойчивость к деградации диатомовые останки обнаруживают в слабокислых и кислых почвенных растворах.

Бурный рост диатомовых водорослей отмечается в самобытных бурых и глубокооподзоленных почвах, сформировавшихся на облессованных осадках (позднеплейстоценовая сиалитно-карбонатная кора выветривания) в постледниковый период под реликтовыми черневыми лесами (Салаирское низкогорье,

Западная Сибирь). Высокая численность живых клеток и пустых панцирей, или опада [10–12] обеспечивается за счёт активизации гидролиза силикатов, в которой непосредственно участвуют диатомеи. Концентрация диоксида кремния в панцире диатомей достигает величин, сопоставимых с таковыми в подстилке. По расчётам [13], содержание SiO_2 в ней достигает 2,4% сухого вещества. Учитывая тот факт, что цитоплазма диатомей высококалорийна из-за присутствия высокого содержания жира, можно заключить, что клеточное содержимое диатомовых водорослей обеспечивает активность других представителей педобиоты, которые принимают участие в процессах подзолообразования под черными лесами. Ускоренное воспроизводство клеток диатомей в ситуациях утраты подстилки можно рассматривать как кремнезёмную компенсацию почв под лесом, изначально характеризующимся высоким биогеохимическим обменом.

Сравнение разнообразия диатомей сибирских реликтовых автоморфных почв [14] с таковыми подзолов Европейской части России [15–17] обнаружило большое сходство. Вместе с тем видовой состав диатомей в почвах Сибири представительнее – общий список широко распространённых и редких видов приближается к 40. Состав же активно размножающихся видов во всех случаях не превышает 10. Их развитию в самобытных почвах способствуют временное переувлажнение почв (до 70% годового количества осадков выпадает в летний и летне-осенний периоды), отсутствие зимнего промерзания почв (вследствие мощного снежного покрова).

В современных подводных почвах – сапропелях [18] диатомеи участвуют в образовании пеллет, детрита, ила с высоким содержанием кремнезёма [19]. Так, например, в межгривных понижениях Барабинской лесостепи (Новосибирская и Омская области), сравнительно молодой по геологическим меркам территории, запасы диоксида кремния в сапропелевых залежах достигают 65%, окиси железа – до 5% минеральной массы [20]. Пул пустых панцирей и их обломков складывается как из фитопланктона и фитобентоса, так и эдафона грив. При этом родовое разнообразие диатомей мелководий и смежных почв имеет схожий состав. Встречаются представители родов *Hantzschia*, *Pinnularia*, *Diatoma*, *Achnanthes*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Fragillaria*, *Cocconeis*, *Cyclotella*, *Synedra* и другие. По географической приуроченности обнаружен-

ные диатомеи относятся преимущественно к космополитам, по солёности среды обитания – к индифферентам, по её кислотности – к алкалофилам и нейтрофилам. Среда обитания диатомей могут быть опреснёнными и засоленными. Происхождение водорастворимых солей и весьма характерной для этого региона соды связывается многими исследователями с процессами выветривания и почвообразования, как в прошлое, так и настоящее время, и частично – с явлениями десульфатизации [21]. Образование соды обязано в некоторой степени развитию самих диатомовых водорослей [22, 23].

Об участии диатомей в процессах первичного почвообразования в современный период голоцена можно судить по их быстрому расселению в техногенных субстратах. Жизнедеятельные особи обнаруживаются в мелкозёме, формирующемся на лессовидных суглинках, обнажённых при лесоразработках и добыче золота на Салаире [24], при угледобыче на КАТЭКе [25], в Кузбассе [26], Подмосковном, Кизеловском, Печорском районах [27]. Встречаются они при зарастании породных угольных отвалов, расположенных за Полярным кругом, в районе Воркуты [28]. Следует сказать, что «образ» микроэлементного состава [29] пород на каждом месторождении свой, но состав диатомовых водорослей схож. Не исключено, что выживанию диатомей на начальных стадиях самозарастания техногенных субстратов способствуют поднятые на дневную поверхность глубинные породы: алевролиты, углистые аргиллиты, глинистые сланцы, которые содержат элементный комплекс, обеспечивающий рост и размножение с воспроизводством силикатного панциря. Не исключено, что в качестве источника доступных форм кремния, железа и алюминия могут оказаться присутствующие в углистых аргиллитах останки ископаемых диатомей. Неогеновые диатомеи в угленосных породах Западной Сибири обнаружены ещё в прошлом веке [30], встречены они и в бурых углях Закарпатья [31]. Большое внимание присутствию кремнезёма в углистых породах осадочного происхождения и в молодых почвах Кузбасса уделено в работах сотрудников ИПА СО СССР [32, 33]. Они неоднократно обращали внимание на прохождение сибирскими лессовидными суглинками в былые эпохи нескольких фаз почвенного развития, что не могло не отразиться на накоплении в них заметных количеств биофильных элементов, которые могут быть востребованы водорослями в современных

молодых почвах техногенного генезиса. Участие диатомей в образовании почв на угольных отвалах не ограничивается синтезом биомассы и формированием запасов кремнезёма. Эти водоросли способствуют биогенному агрегированию глинистых минералов, благодаря продуцированию слизи, а также становлению почвенно-поглощающего комплекса и самоочищающей способности. Не исключена антагонистическая активность диатомовых водорослей по отношению к ряду микроорганизмов.

Не менее интересным может оказаться расшифровка жизнедеятельности диатомовых водорослей и их роли в условиях криолитозоны. Почвообразование в условиях криогенеза наблюдается в широком диапазоне времени и пространства: от раннего плейстоцена до современности, при этом почти на всей территории Сибири, в горах Средней Азии и Монголии, на большей части Русской равнины [34]. Вклад диатомей в биогенность криогенных почв недостаточно ясен. Подробный таксономический состав водорослей приводится для гидроморфных почв Карелии [35], для водных и наземных экосистем Крайнего Севера [36], для почв аласных экосистем [37]. Но информации о биомассе и численности криофильных диатомей в почвах основных провинций тундровой зоны (Восточно-Европейской, Сибирской, Чукотско-Анадырской) мало. Отсутствуют сведения о диатомовых водорослях в почвах едом. Едома – элемент рельефа субарктических равнин Восточной Сибири – небольшая возвышенность (большой, обычно каменный холм), содержащая погребённый ископаемый лёд и имеющая мелкобугристую поверхность. Фактически это районы вечной мерзлоты. Как и арктические пустыни, тундровые экосистемы и едомы характеризуются присутствием льда в почвах. По этой причине криофильное население почв, по всей видимости, наряду с адаптацией к низким температурам, проявляет различные экологические тактики. Не исключено, что в некоторых ситуациях водоросли криоконсервируются в ледяных линзах и сегрегационном льду, которые образуются по фронту промерзания мелкозернистых субстратов (иле, суглинке, глине), а также в ледовом цементе, формирующемся при замерзании грунтовой воды в крупных порах крупнозернистых субстратов (песке, гравии). В ходе почвообразующих процессов: криотурбации, солифлюкации (гелифлюкации), льдообразования происходит перемещение и погребение покоящихся форм диатомей внутри почвенного тела. При таянии льда активизируется крио-

турбация и в мелководьях, вследствие чего ледовые массы механически сносят диатомей со дна, камней и илов. Они могут мигрировать в почвы, пополнять их биогенность. Поэтому активизация жизни диатомовых водорослей в биологически активный период, чрезвычайно сжатый во времени, интересна с позиций проявления их поведенческих реакций.

Термин «поведение» в общем понимании – это отклик организма на сигналы, поступающие из окружающей среды [38]. Элементарные поведенческие реакции микробов – это таксисы: фото-, хемо-, аэро-, термо-, магнито-, вискози-, которые возможны лишь при наличии жидкой воды в почве, а значит, в период таяния льда. Повышение вязкости почвенного раствора может продлить метаболические процессы диатомей, которые вовлечены в процессы почвообразования. «Цветение» льда в отличие от снега происходит не столько на поверхности, сколько в его толще – в углублениях и выступах [39]. «Ледовых» диатомей в арктических и антарктических морях обнаружено уже более 80 видов. Приводятся единичные факты о численности клеток и запасах биомассы диатомовых водорослей в ледовом «плене»: до 200 тыс. клеток / 1 мл ледовой воды и до 1 кг (сырой массы) / 1 м³ льда [40].

Сохранность диатомовых водорослей в погребённых почвах также представляет не меньший интерес, чем криогенных. В них обеспечивается долговременная консервация покоящихся форм и хорошая сохранность пустых панцирей. Пресноводные диатомей, в отличие от морских представителей, не формируют споры, но обладают разными формами покоя. Однако информации об их разнообразии в погребённых почвах пока недостаточно. Совершенно очевидно, что введение молекулярно-биологических методов ускорит их расшифровку. Кроме того, привлечение современных подходов изучения физиологии диатомей обеспечит определение состояния метаболически активных членов диатомового сообщества, в том числе фото- и гетеротрофных. Поскольку диатомовые водоросли чрезвычайно чувствительны к дефициту света, влаги, кремния, железа, алюминия, избытку некоторых экотоксикантов, то эксперименты с «оживлением» покоящихся форм могут оказаться информативными в отношении диагностики гидротермического и химического состава палеопочв. В свою очередь, морфологический анализ панцирей перспективен в отношении выявления диморфных клеток, которые возникают при резких колебаниях

условий почвообразования, а также в присутствии мутирующих факторов.

Несмотря на давний и большой интерес к проблеме участия диатомей в образовании почв, фактических материалов, разносторонне характеризующих их роль в разных экологических ситуациях, явно недостаточно. Учитывая, что сущность педогенеза во многом определяется познанием особенностей развития почв во времени, следует отметить очевидный дефицит количественных характеристик в хронологическом аспекте почвообразования.

Кроме вышеизложенного, нам представляется целесообразным остановиться на терминологии, прежде всего смысловом значении некоторых понятий, касающихся почвенной среды обитания диатомовых водорослей в древности и голоцене. Их расшифровка не часто приводится в литературе, а история развития понятийного аппарата, применимого к прошлому почв, чрезвычайно интересна, поскольку отражает вызовы времени. Кроме того, при анализе литературы о диатомовых водорослях почв голоцена мы столкнулись с очень неопределёнными толкованиями некоторых терминов. Это послужило причиной вернуться к первоисточникам упоминания терминов и попытаться их систематизировать.

В западноевропейской классификации древняя почва (палеосо́ль) – это почва, сформировавшаяся в различных экологических (в частности, климатических, растительных) условиях [18]. Она может быть погребена под более свежими и обычно мощными отложениями (ископаемая почва), которые препятствуют любой последующей эволюции, или, напротив, перекрыта маломощным наносом (сложная почва). Ископаемые погребённые почвы встречаются преимущественно среди осадочных отложений аллювиального или эолового происхождения. Эти почвы последовательно перекрыты аллювием и особенно отложениями лёсса. В случае погребения древних почв под маломощной толщей они в той или иной мере вовлекаются в современный педогенез и, следовательно, почвенное образование оказывается сложным. Ископаемые почвы называют также «мёртвыми», сложные аналоги – «деградированными» [41]. По мнению ряда авторов [42], определению «ископаемая почва» соответствуют 3 положения: 1) исследованное геологическое тело есть почва; 2) данная древняя почва обладает тем же основным набором признаков и свойств, которые присущи современной почве, как природному телу; 3) данная древняя

почва имеет ряд признаков и свойств, которые под влиянием диагенеза не претерпевают значительных изменений, могут служить надёжными диагностическими признаками для характеристики элементарных почвообразовательных процессов и типов почвообразования.

Термин палеопочвы, или реликтовые почвы, был введён в середине прошлого века [43]. Поскольку некоторые свойства, унаследованные от древнего почвообразовательного процесса, характеризуют почвы и в современное время, Б. Гэз в 1959 г. назвал их «унаследованными» – цит. по [44]. В середине прошлого века палеопочвенные и эволюционные исследования получили в нашей стране социальный заказ от палеогеографии, четвертичной геологии, археологии и других дисциплин [45]. Не случайно, развитие исследований палеопочв существенно продвинулось вперёд и в настоящее время пристальное внимание палеопочвоведов обращено к четвертичным лёссово-почвенным сериям, голоценовым возрастным группам погребённых (buried paleosols) и непогребённых педообразований (non-buried, surface paleosols). Особый интерес вызывают эксгумированные культурные слои древних поселений и захоронений, а также почвы среднего и раннего голоцена, обнажённые в ходе современной эрозии и техногенных воздействий.

В продолжение научного языка следует остановиться на термине «сапропели», поскольку генезис сапропелеобразования в последние годы вызывает вновь возросший интерес у геологов и почвоведов. В зарубежной почвенной классификации сапропели – это подводные почвы, сформировавшиеся в бедных кислородом водах [18]. В отечественной литературе сапропели рассматриваются, как гниющие илы [46], биогенные грунты [47], иловые отложения пресных водоёмов [48], озёрные илы [20], донные отложения пресноводных и солоноватоводных озёр [49] и другие. Пожалуй, при рассмотрении индикационных возможностей диатомовых водорослей в генезисе сапропелей не принципиально использование того или иного термина, но нам ближе определение: сапропели – это почвы.

Итак, подводя итог вышесказанному, мы считаем, что современный уровень изученности пресноводных диатомовых водорослей, обитающих в почвах, независимо от геологической привязки, остаётся весьма далёким до завершения. В равной мере это относится и к разработке понятийного аппарата. Ясно одно, жизнь и следы жизни диатомовых водорослей

представляют значительный информационный ресурсный потенциал, который может быть использован в ходе углублённой расшифровки почвообразования, геологических и палеоэкологических реконструкций.

Литература

1. Добровольский Г.В. Педосфера как оболочка высокой концентрации и разнообразия жизни на планете Земля // Почвы в биосфере и жизни человека. М.: ФГБУ ВПО МГУЛ, 2012. С. 20–34.
2. Герасимов И.П., Глазовская М.А. Основы почвоведения и географии почв. М.: Гос. изд-во географ. литературы, 1960. 490 с.
3. Бахнов В.К. Основные вехи эволюции биосферы и почвообразования // 4-я Всерос. конф. «Проблемы эволюции почв»: Тез. докл. Пушкино. 2001. С. 9–10.
4. Бахнов В.К. Почвообразование: взгляд в прошлое и настоящее (биосферные аспекты). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 117 с.
5. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 184 с.
6. Цех В., Хинтермайер-Эрхард Г. Почвы мира. Атлас. М.: Изд. Центр «Академия», 2007. 120 с.
7. Тюрин И.В. Органическое вещество почв. М.: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
8. Schuttler P.L., Weaver T. Concentrating soil diatoms for assemblage description // Soil Biology and Biochemistry. 1986. V. 18. № 4. P. 389–394.
9. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. М.: Наука, 2006. 364 с.
10. Артамонова В.С. Развитие почвенных водорослей в некоторых антропогенных сообществах в зоне черневой тайги // Вопросы метаболизма почвенных микроорганизмов. Новосибирск: Наука, 1981. С. 170–184.
11. Артамонова В.С. Развитие водорослевых сообществ в почвах при антропогенном воздействии // Микробоценозы почв при антропогенном воздействии. Новосибирск: Наука, 1985. С. 111–123.
12. Артамонова В.С. Эволюция сообществ фототрофных микроорганизмов // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. С. 199–214.
13. Корсунов В.М. Генетические особенности глубокоподзоленных почв черневой тайги Салаира и некоторые элементы современного почвообразования в них // Лесные почвы горного окаймления юго-востока Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. С. 133–197.
14. Артамонова В.С. Почвенные водоросли осиново-пихтового леса стационара «Которово» // Микробиологические процессы в почвах Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. С. 159–175.
15. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 150 с.
16. Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Флора Вятского края. Часть 2. Водоросли (Видовой состав, специфика водных и почвенных биоценозов). Киров: ОАО «Киров. обл. тип.», 2007. 192 с.
17. Кондакова Л.В. Альго-цианобактериальная флора и особенности её развития в антропогенно нарушенных почвах (на примере почв подзоны Европейской части России): Дис. докт. биол. наук. Сыктывкар. 2013. 416 с.
18. Лозе Ж., Матье К. Толковый словарь по почвоведению. М.: Мир, 1978. 398 с.
19. Бреховских В.Ф., Казмирук В.Д., Вишневская Г.Н. Биота в процессах массопереноса в водных объектах. М.: Наука, 2008. 315 с.
20. Алтухов В.М., Бгатов В.И., Ван А.В., Григорьева Т.Р. и др. Органо-минеральное сырье сельскохозяйственного назначения Новосибирской области (Объяснительная записка к карте). Новосибирск, 1990. 170 с.
21. Базилевич Н.В. Биогеохимия почв содового засоления. М.: Наука, 1965. 350 с.
22. Большев Н.Н. Водоросли и их роль в образовании почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. 84 с.
23. Леонова В.В. Водоросли почв засоленного ряда и их участие в солонцовом процессе: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск. 1983. 17 с.
24. Артамонова В.С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 225 с.
25. Артамонова В.С. Сукцессии в сообществе фототрофных микроорганизмов // Сукцессии и биологический круговорот. Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма, 1993. С. 52–61.
26. Шушуева М.Г. Формирование водорослевых группировок на отвалах угольных разработок в Кузбассе // Природные комплексы низших растений Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. С. 57–85.
27. Дорохова М.Ф. Формирование и значение группировок почвенных водорослей в условиях промышленного загрязнения (на примере угледобычи): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ. 1989. 24 с.
28. Зимонина Н.В. Количественные показатели альгогруппировок техногенных субстратов в районах угле- и нефтедобычи Европейского Северо-Востока (Республика Коми) // 2-я Межд. научно-практ. конф., посвящённая 105-летию со дня рождения проф. Э.А. Штиной: Матер. докладов. Киров. 2015. С. 134–139.
29. Махонина Г.И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 356 с.
30. Ларищев А.А. Об образовании одного третичного угля из области низовьев р. Оби // Химия твёрдого тела. 1937. № 3. С. 201–207.
31. Оксийук О.П. Диатомовый анализ бурых углей из Виноградского района Закарпатской области // Укр. бот. ж. 1960. Вып. 17. № 1. С. 76–84.

32. Рагим-заде Ф.К. оглы. Техногенные элювии вскрышных пород угольных месторождений Сибири, оценка их потенциального плодородия и пригодности для восстановления почвенного покрова: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск. 1997. 22 с.

33. Таранов С.А. Особенности почвообразования в техногенных ландшафтах Кузбасса (предварительные итоги опытов на лизиметрических моделях) // Восстановление техногенных ландшафтов Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. С. 81–105.

34. Алифанов В.М., Гугалинская Л.А. Криогенез и эволюция почв // Всес. конф. «История развития почв СССР в голоцене»: Тез. докл. Пущино. 1984. С. 21–22.

35. Штина Э.А., Антипина Г.С., Козловская Л.С. Альгофлора болот Карелии и её динамика. Л.: Наука, 1981. 269 с.

36. Гецен М.В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. Л.: Наука, 1985. 165 с.

37. Пшеничкова Е.В. Водоросли аласов Ленно-Амгинского междуречья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск. 1994. 17 с.

38. Громов Б.В. Поведение бактерий // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 6. С. 28–32.

39. Садчиков А.П. Водоросли, обитающие в экстремальных условиях. 2013: [Электронный ресурс] <http://www.moip.msu.ru>.

40. Самсонов Н.И. Диатомовые водоросли морских льдов Южного океана: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург. 1995. 24 с.

41. Pallmann H. Pedologie et phytosociologie. Congres intern. de pedol. mediter. Montpellier. 1947. P. 1–36.

42. Дергачева М.И., Зыкина В.С., Волков И.А. Проблемы и методы изучения ископаемых почв: методические рекомендации. Новосибирск, 1984. 79 с.

43. Kubiena W.L. The soils of Europe. London, 1953. 318 p.

44. Дюшофур Ф. Основы почвоведения и эволюция почв (опыт изучения динамики почвообразования). М.: Изд-во «Прогресс», 1970. 592 с.

45. Иванов И.В. Развитие представлений об эволюции почв в российском почвоведении // 4-я Всерос. конф. «Проблемы эволюции почв»: Тез. докл. Пущино. 2001. С. 4–6.

46. Пикалова Г.М., Дороненко Е.П., Жерносенко К.К. Перспективы рекультивации земель в условиях Заполярья // Почвообразование в антропогенных условиях. Свердловск, 1981. С. 101–108.

47. Рубинштейн А.Я. Биогенные грунты. М.: Наука, 1986. 89 с.

48. Критерии оценки качества лечебных грязей при их разведке, использовании, охране // Методические указания. М.: 1987. 24 с.

49. Страховенко В.Д., Росляков Н.А., Сысо А.И. Месторождения озёрных сапропелевых залежей Западной Сибири // IX Междунар. биогеохим. школа. 2015. Т. 1. Барнаул. С. 242–245.

References

1. Dobrovolskiy G.V. The pedosphere as the shell of high concentration and diversity of life on Earth. M.: FGBU VPO MGUL, 2012. P. 20–34 (in Russian).

2. Gerasimov I.P., Glasovskaya M.A. The basis of pedology and geography of soils. M.: Gos. izd-vo geograf. literatury, 1960. 490 p. (in Russian).

3. Bakhnov V.K. Key milestones of biosphere and soil evolution // 4-ya Vseros. konf. «Problemy evolyutsii pochv»: Tez. dokl. Pushchino, 2001. P. 9–10 (in Russian).

4. Bakhnov V.K. Soil formation: the past and the present (biosphere aspects). Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002. 117 p. (in Russian).

5. Korpachevskiy L.O. Ecological soil studies. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1993. 184 p. (in Russian).

6. Tsek V., Khintermayer-Erhard G. Soils of world. Atlas. M.: Izd. Tsentr «Akademiya», 2007. 120 p. (in Russian).

7. Tyurin I.V. Organic substance of soils. M.: Selkhozgiz, 1937. 287 p. (in Russian).

8. Schuttler P.L., Weaver T. Concentrating soil diatoms for assemblage description // Soil Biology and Biochemistry. 1986. V. 18. № 4. P. 389–394.

9. Dobrovolekiy G.V., Nikitin E.D. Ecology of soils. M.: Nauka, 2006. 364 p. (in Russian).

10. Artamonova V.S. The development of soil algae in some communities in anthropogenic black taiga zone // Voprosy metabolisma pochvennykh mikroorganizmov. Novosibirsk: Nauka, 1981. P. 170–184 (in Russian).

11. Artamonova V.S. The development of algal communities in soil under anthropogenic impact // Mikrobotsenozy pochv pri antropogennom vozdeystvii. Novosibirsk: Nauka, 1985. P. 111–123 (in Russian).

12. Artamonova V.S. Evolution of communities of phototrophic microorganisms // Ecologiya i rekultivatsiya tekhnogennikh landshaftov. Novosibirsk: Nauka, 1992. P. 199–214 (in Russian).

13. Korsunov V.M. Genetic features of deeply podzolized soils in black Salair taiga and some elements of modern soil in them // Lesnye pochvy gornogo okaymlyeniya yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri. Novosibirsk: Nauka, 1974. P. 133–197 (in Russian).

14. Artamonova V.S. Soil algae of the aspen-fir forest of «Kotorovo» station // Mikrobiologicheskiye protsessy v pochvakh Zapadnoy Sibiri. Novosibirsk: Nauka, 1982. P. 159–175 (in Russian).

15. Aleksakhina T.I., Shtina E.A. Soil algae in forest ecosystems. M.: Nauka, 1984. 150 p. (in Russian).

16. Kondakova L.V., Domracheva L.I. Flora of the Vyatka region. Part 2. Algae (Species composition, the specificity of water and soil biocenoses). Kirov: OAO «Kirov. obl. tip.», 2007. 192 p. (in Russian).

17. Kondakova L.V. Algo-cyanobacterial flora and the specific features of its development in anthropogeni-

cally disturbed soils (by the example of soil of the subzone of the European part of Russia). Dis. doctor. biol. sciences. Syktyvkar. 2013. 416 p. (in Russian).

18. Loze J., Matue K. Glossary of soil studies. M.: Mir, 1978. 298 p. (in Russian).

19. Brekhovskikh V.F., Kazmiruk V.D., Vishnevskaya G.N. Biota in mass transfer processes in water bodies. M.: Nauka, 2008. 315 p. (in Russian).

20. Altukhov V.M., Bgatov V.I., Van A.V., Grigoryeva T.R. et al. Organo-mineral raw materials for agricultural purposes in the Novosibirsk region (Explanatory note to the map). Novosibirsk, 1990. 170 p. (in Russian).

21. Bazilevich N.V. Biogeochemistry of soil of soda salinity. M.: Nauka, 1965. 350 p. (in Russian).

22. Bolyshv N.N. Algae and their role in the formation of soils. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1968. 84 p. (in Russian).

23. Leonova V.V. Algae in soil of salinity range and their participation in the solonetz process: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Novosibirsk, 1983. 17 p. (in Russian).

24. Artamonova V.S. Microbiological characteristics of anthropogenically transformed soils of Western Siberia. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002. 225 p. (in Russian).

25. Artamonova V.S. Successions in the community of phototrophic microorganisms // Suktsessii i biologicheskii krugovorot. Novosibirsk: Nauka, 1993. P. 52–61 (in Russian).

26. Shushueva M.G. Formation of algal groups in the dumps coal mines in Kuzbass // Prirodnye kompleksy nizshikh rasteniy Zapadnoy Sibiri. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1977. P. 57–85 (in Russian).

27. Dorohova M.F. Formation and importance of soil algae groups in industrial pollution (by the example of coal mines): Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. M.: MGU. 1989. 24 p. (in Russian).

28. Zimonina N.V. Quantitative indicators of algal groups in man-made substrates in the areas of coal and oil production at the European Northeast (the Komi Republic) // 2-ya Mezhd. nauchno-prakt. konf., posvyashchenoy 105-letiyu so dnya rozhdeniya prof. E.A. Shtinoy: Mater. dokladov. Kirov. 2015. P. 134–139 (in Russian).

29. Makhonina G.I. Environmental aspects of soil formation in man-made ecosystems of the Urals. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2003. 356 p. (in Russian).

30. Laristshchev A.A. On the formation of one tertiary coal from the region of the lower reaches of the Ob River // Khimiya tverdogo tela. 1937. № 3. P. 201–207 (in Russian).

31. Oksiyuk O.P. Diatom analyzes of lignite from the Vynohradiv District, Zakarpatska region // Ukr. bot. zh. 1960. V. 17. № 1. P. 76–84 (in Russian).

32. Ragim-zade F.K. ogly. Technogenic eluvii of overburden of coal deposits in Siberia, an assessment of their potential fertility and suitability for soil restoration:

Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Novosibirsk, 1997. 22 p. (in Russian).

33. Taranov S.A. Features of soil formation in man-made landscapes of the Kuznetsk Basin (preliminary results of experiments on lysimetric models) // Vosstanovlenie tekhnogennykh landshaftov Sibiri. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1977. P. 81–105 (in Russian).

34. Alifanov V.M., Gugalinskaya L.A. Cryogenesis and evolution of soils // Vses. konf. «Istoriya razvitiya pochv SSSR v golotsene»: Tez. dokl. Pushchino. 1984. P. 21–22 (in Russian).

35. Shtina E.A., Antipina G.S., Kozlovskaya L.S. Algae of marshes of Karelia and it dynamics. L.: Nauka, 1981. 269 p. (in Russian).

36. Getsen M.V. The algae in the ecosystems of the Far North. L.: Nauka, 1985. 165 p. (in Russian).

37. Pshennikova E.V. Algae of alas of Leno-Amginsky interflume: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Novosibirsk. 1994. 17 p. (in Russian).

38. Gromov B.V. The behavior of bacteria // Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal. 1997. № 6. P. 28–32. (in Russian).

39. Sadchikov A.P. Algae that live in extreme conditions. 2013: [Electronic resource] <http://www.moip.msu.ru> (in Russian).

40. Samsonov N.I. Diatoms of sea ice in the Southern Ocean.: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Sankt-Peterburg. 1995. 24 p. (in Russian).

41. Pallmann H. Pedologie et phytosociologie. Congres intern. de pedol. mediter. Montpellier. 1947. P. 1–36.

42. Dergacheva M.I., Zykina V.S., Volkov I.A. Problems and methods of fossil soils studying: guidelines. Novosibirsk, 1984. 79 p. (in Russian).

43. Kubiens W.L. The soils of Europe. London, 1953. 318 p.

44. Dyushofur F. Fundamentals of Soil Science and evolution of soil (experience of studies soil formation dynamics). M.: Izd-vo «Progress», 1970. 592 p. (in Russian).

45. Ivanov I.V. The development of ideas on the evolution of soils in Russian soil science // 4-ya Vseros. konf. «Problemy evolyutsii pochv»: Tez. dokl. Pushchino. Pushchino, 2001. P. 4–6 (in Russian).

46. Pikalova G.M., Doronenko E.P., Zhernosenko K.K. Prospects for land reclamation in conditions of the Arctic // Pochvoobrazovanie v antropogennykh usloviyakh. Sverdlovsk, 1981. P. 101–108 (in Russian).

47. Rubinstein A.Ya. Biogenic grounds. M.: Nauka, 1986. 89 p. (in Russian).

48. Criteria for assessing the quality of therapeutic mud with its exploration, use, protection // Metodicheskie ukazaniya. M., 1987. 24 p. (in Russian).

49. Strahovenko V.D., Roslyakov N.A., Syso A.I. The deposits of lake sapropel in Western Siberia // IX Mezhdunar. biogeokhim. shkola. 2015. T. 1. Barnaul. P. 242–245 (in Russian).