

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

© И. Л. КУЗИН

ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ И КАМЕННЫЙ УГОЛЬ КАК ПОКАЗАТЕЛИ СЕРОВОДОРОДНОГО ЗАРАЖЕНИЯ СРЕДЫ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

В природе биогенный сероводород развит очень широко. Часто он образуется синезелеными водорослями и сульфатредуцирующими бактериями, для жизнедеятельности которых необходимы сульфаты и органическое вещество (или водород). В пресноводные бассейны сульфаты поступают с берега, где вымываются из серосодержащих изверженных, метаморфических или осадочных пород. В морских бассейнах они присутствуют постоянно, их количество определяется степенью опреснения морской воды и колеблется от долей грамма в прибрежных частях до 3.8 г/л — в открытом океане. Органическое вещество как пресноводных, так и морских бассейнов представлено живыми организмами, отмершими растительными и животными остатками, а также поступающими с берега гуминовыми кислотами.

С сероводородом связано образование некоторых полезных ископаемых. По мнению автора, наиболее заметное влияние этот ядовитый газ оказал на формирование месторождений осадочных железных руд и каменного угля.

Как известно, среди железных руд выделяют два главных типа — железистые кварциты (их тонкополосчатые разновидности называются джеспилитами) и бурые железняки оолитового строения [1, 15]. Первые являются архейскими и протерозойскими образованиями (с ними связано около 95 % всех запасов железных руд Земли), вторые развиты в отложениях фанерозоя, главным образом мезозоя и кайнозоя.

Изучением осадочных железных руд в течение многих лет занимаются специалисты разных стран. Предложено много гипотез их образования, однако до настоящего времени происхождение и железистых кварцитов, и бурых железняков изучено слабо. По нашему мнению, это связано с тем, что при изучении среды осадконакопления не уделяется должного внимания биохимическим процессам. Обосновывая представления о гравитационном, химическом или ином способе накопления железосодержащих отложений, некоторые авторы [20] указывают и на участие в этом процессе микроорганизмов, однако в чем конкретно проявляется это участие — не объясняют.

По мнению автора [11, 12], на разных стадиях сложного биохимического процесса накопления железосодержащих отложений и их преобразования в железные руды участвуют разные микроорганизмы. Одни создают условия для образования закисного железа, другие переводят его в более устойчивое окисное железо. Первым звеном в цепи биохимических превращений является жизнедеятельность железосоосаждающих микроорганизмов — синезеленых водорослей и сульфатредуцирующих бактерий, вырабатывающих сероводород. Для существования тех и других необходимы одни и те же компоненты природной среды — органические вещества (углерод), сульфаты (сера) и железо.

На примере черных озер гумидной зоны, в которых содержится много гуминовых веществ и железа, автором показано [11, 12], что в осаждении растворенного в воде железа участвуют определенные виды синезеленых водорослей. Эти микроорганизмы се-

ляются только на мелководьях, сложенных чистым кварцевым или полевошпатово-кварцевым песком. В тонком (1—5 мм) слое песка они образуют так называемый цианобактериальный мат, в процессе жизнедеятельности которого вырабатывается сероводород и формируется резко восстановительная среда. При взаимодействии свободного сероводорода с растворенным в воде железом внутри мата образуется гидрат односернистого железа — гидротроилит. Этот густо черного цвета минерал в виде рассеянного порошка или скоплений геля покрывает (обволакивает) каждую песчинку мата. Он крайне неустойчив, легко перемещается и переходит в двусернистое безводное железо — пирит, марказит или пирротин. При сильном волнении воды мат разрушается. Содержащиеся в нем сульфиды из восстановительной среды попадают в среду окислительную, в которой при воздействии железобактерий переходят в более устойчивые окислы и гидроокислы железа — гематит, гётит, гидрогётит (лимонит). При размыве донных отложений образуется шлик, сложенный как покрытыми окислами и гидроокислами железа песчинками, так и мелкими обломками этих минералов. Со временем слагающий дно озер светло-серый песок обогащается железом; в зависимости от количества содержащегося в нем железа его цвет становится серым и даже черным.

Происходящие на дне озер биохимические процессы приводят к осветлению черной воды. Она становится чистой и прозрачной, как дистиллированная: в процессе жизнедеятельности микроорганизмов из нее удаляются сульфаты, гуминовые вещества и железо. В результате черные озера становятся голубыми, так как через обесцвеченную воду просматривается дно, покрытое зеленовато-голубым цианобактериальным матом [11].

Железоосаждающие синезеленые водоросли распространены в любом пресноводном бассейне, если в нем есть необходимые для этого условия. По наблюдениям автора в Кузнецком и Печорском угольных бассейнах, в наши дни цианобактериальные маты образуются в заполненных водой многочисленных угольных карьерах и «обвалах». Из отвалов горных пород, содержащих примесь угля, в них поступают органические вещества, сульфаты и гидроокислы железа. Под воздействием синезеленых водорослей вода в этих бассейнах становится бесцветной и прозрачной, а донные отложения обогащены железом.

Синезеленые водоросли являются самыми древними живыми организмами на Земле. По мнению автора, жизнедеятельность этих микроорганизмов явилась главной причиной накопления железосодержащих отложений, из которых в процессе обезжизнения, уплотнения и регионального метаморфизма образовались мощные толщи джеспилитов (железистых кварцитов) архея и протерозоя [12].

Физико-химические условия накопления бурых железняков изучены также слабо. Считается, что на мелководье открытого моря, где из-за активного перемешивания вода и донные отложения насыщены кислородом, образуются гидроокислы железа — гётит, гидрогётит (лимонит) и др. На участках же, отделенных от открытого моря архипелагами островов и барами, подвижность водной среды слабая. Здесь при недостатке кислорода и обилии органики и углекислого газа в присутствии сероводорода отлагаются сульфиды — марказит и пирит [1, 16, 17, 23]. При таком объяснении условий возникновения окислительной и восстановительной сред осадконакопления остаются непонятными причины осаждения растворенного в воде железа. К тому же, как показывают наблюдения, и на открытых участках морского побережья, и в «тихих бухтах» при сильном ветре, особенно во время штормов, отложения мелководий размываются практически одинаково сильно. По мнению автора, в образовании железосодержащих отложений подвижность среды осадконакопления играет второстепенную роль. Определяющей является жизнедеятельность сульфатредуцирующих бактерий.

Вода и донные отложения мелководий морей обычно насыщены кислородом и представляют собой окислительную среду осадконакопления. Однако на некоторых участках побережий эта закономерность нарушается, и вместо одной наблюдается две среды накопления осадков: сверху окислительная, а под ней — восстановительная. В первую входят вода и несколько сантиметров содержащих кислород донных отложений, во вторую — лишенные кислорода нижележащие отложения. Причиной образо-

вания анаэробной среды в приповерхностных осадках является жизнедеятельность сульфатредуцирующих бактерий. Они активно проявляют себя на тех участках мелководий, куда выносятся много органического материала и железа, а сульфаты содержатся в самой морской воде.

Сульфатредуцирующие бактерии являются строгими анаэробами. Они восстанавливают сульфаты до сероводорода, а в качестве источника энергии используют окисление органических веществ. Как уже отмечалось при характеристике жизнедеятельности синезеленых водорослей, взаимодействие свободного сероводорода с гидроксидами железа приводит к образованию гидротроилита, который со временем переходит в пирит, марказит или пирротин, а при размыве и переотложении осадков — в гематит, гетит, гидрогетит (лимонит).

Нами процесс накопления железосодержащих отложений наблюдался на побережье Черного моря в Крыму, рядом с Камыш-Бурунским месторождением бурого железняка. Здесь, на окраине г. Керчь, обнажается уступ третьей морской террасы высотой 35—40 м. Аккумулятивная часть террасы мощностью около 20 м сложена неоплейстоценовыми светло-серыми песками с прослоями ракушняка. Цоколем террасы служат плиоценовые отложения. Снизу вверх над осыпью в них залегают:

1. Ракушняк светло-серый, горизонтально-слоистый (мощность 8—10 м). Отдельные слои и трещины ожелезнены, местами до состояния бурого железняка. Переход вверх по разрезу постепенный, без размыва.

2. Железрудный горизонт темно-бурого цвета (мощность 6—8 м).

У подножия обнажения находится пляж высотой до 1 м и шириной до 70—100 м. Он сложен светло-серым разнородным песком с примесью битых раковин. Мелководье моря до глубины 0.5—1.0 м является продолжением пляжа, его затопленной частью. На расстоянии 20—40 м от берега находится мол, предохраняющий пляж и береговую обрыв от размыва во время штормов. За молотом глубина моря резко возрастает.

Голое мелководье с поверхности сложено светло-серым песком. Под ним на глубине 2—3 см залегает серый до черного песок, обогащенный гидротроилитом; на редких участках, там где растет трава, он выходит на поверхность. Больше всего гидротроилита содержится в песке рядом со стенкой мола, куда во время штормов забрасывается трава из более глубокого участка моря. Мощность отложений, обогащенных гидротроилитом, превышает здесь 45 см (ниже не вскрыто). Много этого черного минерала содержится и в отложениях, находящихся по другую сторону мола до глубины не менее 5—8 м.

Как и на голубых озерах севера, рассматриваемые аномалии на мелководье моря связаны с жизнедеятельностью микроорганизмов. Они вырабатывают сероводород, который осаждает растворенное в воде железо. Как уже отмечалось, такими микроорганизмами здесь являются сульфатредуцирующие бактерии.

По нашим наблюдениям, гидротроилит находится не только под водой, но и на всем пляже под 5—10-сантиметровым слоем светло-серого песка. Условия для его образования благоприятны, так как из моря в отложения пляжа постоянно поступает вода с сульфатами, а с высокого берега дождевыми водами сносятся органические вещества и железо (из рудного горизонта).

Количество гидротроилита изменяется по разрезу: в слоях грубого песка с примесью битых раковин его меньше, а в тонких песчано-алевритовых осадках — больше. Как уже отмечалось, содержание этого минерала заметно увеличивается на тех участках мелководья, где растет трава и донные отложения обогащены растительными остатками. Наряду с органикой растительного происхождения сульфатредуцирующие бактерии используют и животные остатки — это обитающие в песке простейшие, черви, двусторчатые моллюски, приспособленные к существованию в условиях сероводородного заражения. Моллюски, например, зарываются в грунт, выставляя наружу хоботок длиной 3—5 см. Через него они втягивают воду с питательными веществами и выбрасывают «отработанную» воду обратно.

В присутствии органического вещества животного происхождения процессы сульфатредукции протекают наиболее интенсивно. Об этом можно судить по скоплению

гидротроилита в современных отмерших раковинах моллюсков на мелководье и по заполненным железом раковинам, залегающим в нижней части рудного горизонта. Здесь раковины крупные и тяжелые, их створки сомкнуты или слегка раскрыты. Внутри однородной черной или бурой железистой массы видны оолиты размером от 1 до 5 мм, такой же величины «почки», а также стреловидной формы кристаллы длиной от 2—3 до 10—15 мм, образующие «розочки»; встречаются также кристаллы гипса. Железистые образования заполняют и все пространство между раковинами. Сомкнутые створки раковин указывают на то, что железная руда образовалась внутри них, а не привнесена извне. Внутри раковин отмерших двустворок активно протекали процессы сульфатредукции, образования сероводорода и осаждения растворенного в воде железа. Руда имеет сложный химический состав, преобладает в ней (до 60 %) гематит [3].

Представление автора об образовании окислов и гидроокислов железа за счет «бактериального выветривания» сульфидов железа подтверждается следующими фактами. По данным Ф. В. Чухрова [22], в нижней части толщи бурых железняков Камыш-Бурунского месторождения сохранились пирротин и пирит, являющиеся продуктами преобразования гидротроилита. Наряду с ними здесь установлены закисные и закисно-окисные фосфаты железа — вивинит, керченит и др.

В тихую погоду на поверхности воды видна легкая «маслянистая», слегка иризирующая пленка; рядом с пучками травы она более плотная. Аналогичная иризирующая пленка часто встречается на озерах и болотах. Она представляет собой железистое образование — скопление мельчайших частиц гидроокислов железа, являющихся продуктами микробного окисления содержащейся в донных отложениях закиси железа (гидротроилита). Постепенно эти частицы оседают, обогащая донные отложения железом. Это хорошо видно у береговой линии, где железистая пленка ложится на светло-серый песок, окрашивая его в желтый с бурым оттенком цвет. За три-четыре дня тихой погоды песок становится темно-серым, почти черным, так как каждая песчинка в нем покрывается плотной железистой пленкой, бурый цвет которой постепенно переходит в черный. Так образуются линзы и прослои интенсивно ожелезненного песка.

Во время штормов отложения мелководья и пляжа размываются, местами на глубину нескольких десятков сантиметров; на пляже образуются береговые валы высотой до 0.3—0.5 м, шириной 2—3 м. Восстановительная среда осадконакопления разрушается, и содержащиеся в ней сульфиды попадают в зону окисления, где переходят в гидроокислы железа. Размыв отложений сопровождается образованием шлиха — песка, обогащенного железом. После того как волнение успокоится, под окислительной средой осадконакопления снова появляется восстановительная обстановка, в которой продолжается процесс осаждения растворенного в воде железа.

В настоящее время условия для накопления бурых железняков в рассматриваемом районе неблагоприятны. Для их образования необходимо, чтобы осадконакопление происходило на обширном мелководье, приуроченном к зоне медленных нисходящих движений земной коры с небольшим поступлением обломочного материала. Сейчас таких условий здесь нет.

Если при образовании железных руд сероводород осаждает растворенное в воде железо, то при накоплении угля он предохраняет содержащееся в воде органическое вещество от окисления.

Как известно, в образовании угля выделяют две стадии: 1) накопление и преобразование растительной массы в торф до перекрытия ее породами кровли; 2) углефикация торфа, его превращение по мере погружения и увеличения давления и температуры в бурый, а затем в каменный уголь и антрацит [8, 24]. По условиям торфообразования различают угли паралические и лимнические. Накопление органического вещества паралических углей происходило преимущественно в лагунах и затапливаемых во время приливов болотах приморских равнин, а лимнических — в пресноводных озерах и болотах. Более ценными являются паралические угли (Донецкий, Кузнецкий, Печорский и многие другие угольные бассейны). Причины этого явления не объясняются.

Еще в 30—40-х гг. прошлого столетия геологами-угольщиками было замечено, что качество угля, количество содержащегося в нем углерода зависит от «степени его

восстановленности», что связывалось с условиями накопления и изменения исходных растительных остатков [2]. Было установлено, что окисляющее действие кислорода воздуха, содержавшегося в водной среде торфяника, сильно влияет на физические и химические свойства угля, приводит к потере углерода. Поэтому одним из главных факторов образования высококачественного угля считается быстрое захоронение растительной массы, ее попадание в восстановительную среду [2, 8, 14, 19].

В объяснении причин образования восстановительной среды осадконакопления нет единого мнения. Одни исследователи главной причиной считают химический состав минеральных веществ, приносимых в торфяник в виде растворов или атмосферной пыли [2]. Другие ее появление связывают с большой скоростью захоронения органического вещества и надежностью покрывки [5]. Существуют и иные точки зрения. По мнению автора, сохранение органической массы от разрушающего воздействия содержащегося в воде кислорода начинается не в слое торфа, а еще до начала его образования, т. е. сразу после отмирания растительности и ее попадания на дно водоема. Как уже отмечалось, бескислородная среда образуется на участках распространения вырабатывающих сероводород сульфатредуцирующих бактерий. Благоприятными для этого являются прибрежные участки моря, воды которых содержат сульфаты и органические вещества, необходимые для жизнедеятельности указанных микроорганизмов.

На процессы сульфатредукции и присутствие в среде осадконакопления сероводорода указывают часто встречающиеся в угле аутигенные серосодержащие образования. Их основная масса представлена железистыми минералами — пиритом, марказитом, халькопиритом и другими; отмечаются также сера, кальцит, доломит. Наиболее широко распространен пирит, который образует как микроскопические зерна, так и более крупные агрегаты — тонкие пластинки, лепешки, желваки и даже конкреции весом до 0.5 т [8, 16, 18]. Крупные включения пирита часто образуют слои, приуроченные к определенным горизонтам пласта.

Причиной различий в качестве паралических и лимнических углей, по мнению автора, явились разные условия углеобразования на стадии накопления органического вещества. В паралических бассейнах оно происходило и в настоящее время происходит в сероводородной среде, надежно защищающей растительные остатки от воздействия кислорода, тогда как в лимнических бассейнах — при активном участии разрушающих их аэробных бактерий. По сравнению с погребенными органическими остатками лимнических бассейнов растительная масса паралических бассейнов содержит больше углерода, что и отражается на качестве угля.

Как известно, при свободном доступе кислорода отмершие растения окисляются, органическое вещество в них истлевет, преобразуется в простые неорганические соединения, прежде всего в углекислый газ. При затрудненном доступе кислорода окисляется и переходит в газообразное состояние только часть органического вещества; в оставшейся его части увеличивается относительное процентное содержание углерода — образуется гумус (перегной). В условиях полного отсутствия кислорода происходит медленное гниение растительной массы при участии анаэробных бактерий, приводящее к образованию торфа. Этот процесс сопровождается значительной потерей кислорода, водорода и азота и относительным обогащением торфа углеродом [7].

Теория образования угля основана на представлении о том, что накопление растительной массы, преобразованной затем в торф и уголь, происходило в озерах и болотах. Считается, что как в лимнических, так и в паралических бассейнах от разрушительного воздействия кислорода отмершие растения предохраняет слой покрывающей их воды. Наиболее благоприятными для образования торфа считаются низинные топяные болота [4, 5, 8, 24]. По мнению автора, это представление недостаточно обосновано, так как в разных типах бассейнов от воздействия воздушного кислорода органическое вещество предохраняется по-разному. В пресноводных болотах и озерах роль барьера (не вполне надежного) действительно выполняет тонкий слой воды. В солонатоводных же болотах и озерах главным препятствием на пути воздушного кислорода является образующийся на дне сероводород: резко восстановительная среда надежно защищает отмершую растительную массу от окисления.

Результаты изучения болот и озер разных районов Западной Сибири, проведенного автором с целью определения скорости образования в них газов [10, 25], позволяют говорить о том, что в накоплении и гумификации растительных остатков роль воды, как барьера воздушного кислорода, преувеличена. В газе, содержащемся среди отмерших растительных остатков обводненных низинных болот (мочажин) и в «торфе» на дне озер, всегда присутствует свободный кислород. Анализ 22 проб показал, что в отобранном из растительной массы болот и озер газе содержание свободного кислорода достигает 7.0—7.7 %. В присутствии кислорода аэробные бактерии преобразуют растительные остатки, удаляют из них углерод.

Воздушный кислород содержится и в придонных слоях озерной воды. Он установлен не только в мелких, но и в глубоких озерах. Примером может служить оз. Сырко-вый сор, расположенное в центральной части Западно-Сибирской равнины рядом с железнодорожной станцией Салым. В нем содержание кислорода в воде с глубиной изменяется следующим образом (мг/л): 0 м — 8.9, 10 — 7.9, 20 — 5.2, 30 — 3.4, 40 — 3.5, 50 — 3.0, 55 — 1.3, 60 м (на дне) — 0. Концентрация метана составляет (микромоляр/л): на глубине 0 м — 0.20/0.16, на глубине 55 — 0.32, на глубине 60 м — 44.25/42.55 (определения Ю. Хайера и У. Бергер, ФРГ, 23 августа 1991 г.).

При оценке потерь углерода на стадии торфообразования следует учитывать фактор времени. До тех пор, пока растительная масса не перекрыта породами кровли, из нее в виде газов постоянно удаляется углерод. Это можно наблюдать на современных болотах и озерах. Чем толще пласт ископаемого угля, тем продолжительнее был процесс деструкции исходного органического вещества, его обеднения углеродом. Считается, что породами кровли растительная масса перекрывается довольно быстро, поэтому сохраняет практически весь содержащийся в ней углерод [8]. Эти представления не соответствуют реальной геологической картине. Тонкие пласты угля действительно могли образоваться сравнительно быстро из торфа, перекрытого породами кровли. Однако накопление растительной массы, из которой образовались пласты высококачественного угля мощностью до нескольких десятков метров, происходило очень долго, в течение сотен тысяч и миллионов лет. Все это время не перекрытое породами кровли органическое вещество интенсивно разрушалось, продукты деструкции уходили в атмосферу.

В процессе углефикации мощность торфа сокращается в 10—20 раз [5]. Это означает, что для образования 10-метрового пласта угля требовалась масса торфа мощностью 100—200 м. Скорость накопления торфа, из которого был образован каменный уголь, неизвестна. Если принять, что она была близка современной (1 м/1—3 тыс. лет [21, 24]), то для образования органогенной массы мощностью 100—200 м потребовалось до 300—600 тыс. лет. За такое долгое время растительные остатки должны были потерять большую часть изначального содержащегося в них углерода.

Иные условия осадкообразования наблюдаются в соленых и солоноватоводных паралических бассейнах, где накопление и преобразование растительной массы происходят в бескислородной среде, обусловленной присутствием сероводорода. Поэтому торф в них содержит больше углерода, из него получается уголь более высокого качества.

Угленосные фации паралических бассейнов прошлого, в частности каменноугольного периода, указывают на то, что «во многих местах древовидная растительность существовала в прибрежно-морской обстановке, напоминая этим современные приморские мангровые леса в тропиках» ([13], с. 150).

Современные паралические бассейны — мангры — приурочены к низким берегам морей и устьям рек и представляют собой лесные болота, периодически во время приливов или постоянно покрытые морской водой. Они широко распространены на побережьях тропического и субтропического поясов разных континентов — Северной и Южной Америки, Восточной Африки, Азии, Австралии, островов Микронезии. Вечнозеленые кустарники и деревья мангров приспособлены к длительному существованию в необычной экологической обстановке, в которой почвой служит «мягкий черный вонючий ил» [9].

Биологические, климатические, гидрологические и геологические условия указывают на то, что «черный вонючий ил» мангров содержит губительные для живых организмов сероводород и гидротроилит, образованные указанными выше микроорганизмами. Для существования в таких экстремальных условиях растения и животные выработали специальные приспособления. Мангровые деревья, например, имеют «дыхательные корни», которые во время прилива находятся выше уровня воды и доставляют кислород к корневой системе. Они снабжены также многочисленными «ходульными корнями», спускающимися с ветвей в виде подпорок и придающими стволам деревьев устойчивость на полужидкой почве.

В настоящее время в манграх образуется древесный торф, мощность которого достигает 6—12 м [21]. По мнению автора, такие благоприятные для накопления органических веществ условия связаны с тем, что растения, отмирая, не окисляются, как обычно на берегу моря, а сразу попадают в анаэробную (сероводородную) среду. Аналогичные условия накопления растительных остатков, преобразованных затем в каменный уголь, существовали в течение всего фанерозоя — мангровая растительность известна с палеозоя. На участках моря и суши, лишенных условий, необходимых для жизнедеятельности вырабатывающих сероводород микроорганизмов, практически все остатки растительности уничтожены процессами выветривания. По мнению автора, высококачественные угли лимнических бассейнов также образованы при участии вырабатывающих сероводород микроорганизмов; сульфаты в пресноводные водоемы поступали с берега. Продукты окисления громадных объемов отмершей растительности в течение многих миллионов лет поступали в атмосферу, замедляли ее обогащение кислородом.

Геохимические процессы, происходящие при накоплении железо- и углеродсодержащих отложений, имеют большое экологическое значение. При сероводородном заражении донных отложений и вод растительные и животные организмы приспособляются к существованию в экстремальных условиях или погибают. В современную эпоху примерами таких аномалий являются описанные выше голубые озера и мангры. Свидетелями аномальных условий осадконакопления прошлого являются месторождения железных руд и каменного угля. В разные отрезки геологической истории образование сероводорода, с которым связаны эти аномалии, происходило при участии разных микроорганизмов. В архее и протерозое, когда моря были преимущественно мелководными и содержали много растворенного кремнезема, а атмосфера была практически бескислородной, это были синезеленые водоросли — анаэробные фотосинтезирующие прокариоты. На границе протерозоя и фанерозоя появились организмы, которые для построения скелетов и раковин использовали кремнезем. Их широкое распространение явилось причиной недонасыщения воды кремнеземом и прекращения его выпадения в осадок. Это отрицательно сказалось на условиях обитания синезеленых водорослей, так как слагающие дно мелкие частицы кремнезема служат каркасом цианобактериального мата. Начиная с позднего протерозоя ареал распространения синезеленых водорослей стал постепенно сокращаться, а сульфатредуцирующих бактерий — увеличиваться.

Влияние сероводородобразующих микроорганизмов на природную среду изменялось во времени. В докембрии существовал «ландшафт пустыни», так как, кроме синезеленых водорослей и бактерий, на протяжении большей части докембрия других живых организмов не было. Как уже отмечалось, с синезелеными водорослями связано накопление мощных толщ архейских и протерозойских железистых кварцитов и углистых сланцев. Образование сланцев продолжалось и в раннем фанерозое, на что указывают распространенные в Прибалтике ордовикские горючие сланцы, исходным материалом для которых были отмершие синезеленые водоросли. Растения и животные появились только в верхнем протерозое, с этого времени жизнь на Земле стала более разнообразной и высокоорганизованной. Особенно заметное обновление органического мира произошло на границе раннего и среднего палеозоя. В это время появились растения, приспособленные к существованию в условиях сероводородного заражения на затопляемых морем равнинах. Это были предвестники растительности современ-

ных мангров, с которыми связано образование паралических углей в палеозое (начиная с карбона), мезозое и кайнозое.

Начиная с палеозоя железосодержащие отложения накапливались преимущественно при участии сульфатредуцирующих бактерий. Как и синезеленые водоросли, эти микроорганизмы вырабатывают сероводород, поэтому места их массового распространения мало пригодны для обитания растений и животных. В зависимости от местных условий экологические аномалии могут быть как локальными кратковременными, так и региональными долговременными. Примером может служить Западно-Сибирский железорудный бассейн, представляющий собой огромную вытянутую с севера на юг вдоль восточной окраины плиты полосу мел-палеогеновых (турон-эоценовых) прибрежно-морских отложений. Его длина превышает 2000 км, ширина достигает 260 км. Здесь распространена толща переслаивающихся мелководных отложений — песчаников, гравелистых песков и алевролитов, содержащих горизонты железных руд мощностью от нескольких метров до нескольких десятков метров. Среди минералов, слагающих железную руду, преобладают лептохлориты, гётит и гидрогётит, реже встречаются сидерит, керченит, пирит и др. [6]. Растворенное в воде железо в бассейн осадконакопления выносилось с территории Восточно-Сибирской платформы, где оно вымывалось из мощных толщ траппов. По мнению автора, на протяжении многих миллионов лет ландшафт восточной окраины западно-сибирского турон-эоценового моря формировался в условиях сероводородного заражения донных отложений и вод.

Таким образом, железные руды и каменный уголь являются показателями географической среды прошлого. Их присутствие в геологическом разрезе указывает на сероводородное заражение бассейнов осадконакопления.

Список литературы

- [1] Авдонин В. А., Бойцов В. Е., Григорьев В. М. и др. Месторождения металлических полезных ископаемых. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998.
- [2] Аммосов И. И., Еремин И. В., Бабинкова Н. И. и др. Петрографические особенности и свойства углей. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
- [3] Архангельский А. Д., Копченова Е. В. Главнейшие железорудные месторождения СССР. Т. 2. М., 1935.
- [4] Волков В. Н. Основы геологии горючих ископаемых. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1993.
- [5] Голицын М. В., Голицын А. М. Все об угле. М.: Наука, 1989.
- [6] Железорудная база России / Гл. ред. В. П. Орлов. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998.
- [7] Жемчужников Ю. А. Общая геология ископаемых углей. М.: Углетехиздат, 1948.
- [8] Жемчужников Ю. А., Гинсбург А. И. Основы петрологии углей. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
- [9] Калесник С. В. Основы общего землеведения. М.: Учпедгиз, 1955.
- [10] Кузин И. Л. Масштабы эмиссии природных газов в Западной Сибири // Изв. РГО. 1999. Т. 131. Вып. 5.
- [11] Кузин И. Л. Голубые озера областей гумидного климата // Изв. РГО. 2001. Т. 133. Вып. 3.
- [12] Кузин И. Л. О геологической роли синезеленых водорослей и природных условиях докембрия // Изв. РГО. 2007. Т. 139. Вып. 2.
- [13] Левитес Я. М. Историческая геология с основами палеонтологии и геологии СССР. М.: Недра, 1970.
- [14] Лопатин Н. В. Образование горючих ископаемых. М.: Недра, 1983.
- [15] Недра России. Т. 1. Полезные ископаемые / Ред. Н. В. Межеловский, А. А. Смыслов. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001.
- [16] Справочное руководство по петрографии осадочных пород. Т. 1 и 2 / Ред. Л. Б. Рухин. Л.: Гостоптехиздат, 1958.
- [17] Смирнов В. А. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1982.
- [18] Теодорович Г. И. Учение об осадочных породах. Л.: Гостоптехиздат, 1958.
- [19] Тимофеев П. П. К вопросу о связи генетических типов углей с обстановкой осадконакопления // Изв. АН СССР, сер. геол. 1952. № 5.
- [20] Точилин М. С. Происхождение железистых кварцитов. М.: Госгеолтехиздат, 1963.
- [21] Чарыгин М. М. Общая геология. М.: Гостоптехиздат, 1963.
- [22] Чухров Ф. В. О пирротине и пирите в керченских рудах и о некоторых общих вопросах генезиса сульфидов железа. М.: Изд-во АН СССР, отд. мат. и естств. наук, 1936.

[23] Швецов М. С. Петрография осадочных пород. М.: Госгеолтехиздат, 1958.

[24] Штах Э., Маковски М.-Т., Тейхмюллер М. и др. Петрология углей. М.: Изд-во Мир, 1978.

[25] Heyer J., Berger U., Kuzin I., Yakovlev O. Methane emission from different ecosystem structure of the subarctic tundra in Western Siberia during midsummer and during the thawing period // Tellus 54 B (2002), 3.

Санкт-Петербург

Поступило в редакцию
12 февраля 2008 г.

Изв. РГО. 2008. Т. 140. Вып. 5

© И. П. СМЕРНОВ

ПОЧВЕННО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТОВ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ

Освоение газовых месторождений, эксплуатация зимних автодорог, строительство железной дороги на п-ове Ямал сопровождаются экологическими наблюдениями, оценкой техногенного воздействия на природную среду, в том числе и загрязнения почвенного покрова. Поэтому очень важно накапливать разнообразные сведения по химическому составу местных почв, чтобы в итоге получить районированные показатели, опираясь на которые можно давать объективную оценку влияния хозяйственной деятельности на ландшафты Ямала. С научной стороны цель данного исследования заключается в том, чтобы выявить ландшафтное разнообразие южной и центральной частей Ямала в изменчивости химического состава приповерхностного слоя почвы, т. е. тех ее горизонтов (торфяного и гумусового, а также непосредственно подстилающего их слоя), на свойства которых оказывают наиболее заметное влияние естественные биогенные процессы и техногенное загрязнение. Данные лабораторного химического анализа 240 проб почвы, отобранных на маршруте длиной в 500 км, протянувшимся с юга на север, вдоль построенного и проектируемого участков железной дороги ст. Обская—Бованенковское месторождение (рис. 1), позволяют рассматривать изменчивость полученных показателей как в типологическом, так и в региональном планах.

Региональная изменчивость геохимических показателей. Материалы по региональной изменчивости химического состава рыхлых отложений и почв Ямала изложены в нескольких публикациях. Автор одной из них, М. П. Тентюков [4], имея в своем распоряжении данные по различным геоморфологическим районам полуострова в полосах северной и южной субарктической тундры, включая и денудационное низкогорье (лесотундра), не посчитал их достаточными для каких-либо региональных оценок. Он ограничился выводом о мало контрастном геохимическом сопряжении ландшафтов. Авторы другой публикации [5] в обзоре различных гипотез происхождения рыхлых отложений Ямальского полуострова говорят об Уральских горах как об источнике обломочного материала, повлиявшего на механический и химический состав почвообразующих пород.

Полученные нами сведения, касающиеся pH водной вытяжки из почвы, валового содержания меди, свинца, цинка, никеля и железа, ясно указывают на снижение величины этих параметров и уменьшение разброса максимальных и минимальных значений по мере продвижения на север и соответственно удаления от Уральских гор. Если считать, что в этом обнаруживается влияние источника обломочного материала, структурно-денудационной возвышенности, то можно сказать следующее. Вышеперечисленные параметры разделяются на две группы. В первой по содержанию Cu, Pb и pH это влияние прослеживается до р. Ензорьяха, приблизительно до 68.0° с. ш. Во второй по содержанию Zn, Ni, Fe — еще на 130 км дальше к северу, до р. Юрибей (при-