

## Серебро и импактные минералы в породах северо-западного обрамления Рыбинского водохранилища

А.М.ЛЮХИН (ООО Институт дистанционного прогноза руд (ООО ДПР); 115093, г. Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 44, оф. 19);  
В.А.ЦЕЛЬМОВИЧ (Геофизическая обсерватория «Борок», филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН (ГО «Борок» ИФЗ РАН); 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, д. 142);  
А.Ю.ГУБАРЬ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН; 123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1);  
А.В.ЦВЕТНОВ (ООО Аталан; 125124, г. Москва, 3-я ул. Ямского поля, 2. корп. 26, оф. 316);  
М.В.БАБУШКИН, Д.О.САДОКОВ (Дарвинский ГПБЗ; 162723, Вологодская область, Череповецкий р-н, д. Борок).

На северо-западе Рыбинского водохранилища в рыхлых породах обнаружены микро-наноразмерные частицы самородного серебра с промышленным содержанием в некоторых пробах. Первоисточник и механизм появления серебра в породах пока неясны. Помимо серебра, в некоторых пробах были обнаружены минералы-индикаторы импактного процесса, представленные магнитными металлическими сферами, зернами самородных металлов (железа, меди, цинка), а также минералами с признаками плавления и структурами распада твердого раствора, предположительно являющимися остаточными проявлениями древнего импактного процесса, основные следы которого были смыты поздне-четвертичными флювиальными потоками.

*Ключевые слова:* самородное серебро, импактные минералы, ударный процесс, металлические сфера, кольцевые структуры, троилит, Рыбинское водохранилище.

Люхин Алексей Михайлович  
Цельмович Владимир Анатольевич  
Губарь Александр Юрьевич  
Цветнов Александр Владимирович  
Бабушкин Мирослав Вячеславович  
Садоков Дмитрий Олегович



lyuhin@yandex.ru  
tselma@mail.ru  
parkag@yandex.ru  
atsvetnov@atalan.net  
babushkin02@mail.ru  
baybaytuy@gmail.com

## Native silver and impact minerals in the sedimentary rocks of the north-west surroundings of the Rybinsk storage reservoir

A.M.LYUKHIN, V.A.TSELMOVITCH, A.U.GUBAR, A.V.TSVETNOV, M.V.BABUSHKIN, D.O.SADOKOV

The micro-nano-size particles of native silver were discovered in the sedimentary rocks in the north-west area of the Rybinsk storage reservoir during 2015 by research of ring structures of presumably impact origin. Silver contents in some samples reached economic concentrations. The primary source and the mechanism of silver occurrence in these sedimentary rocks are still unclear. Besides silver, the impact processes mineral-indicators namely magnetic metallic spherules, grains of native metals (iron, copper, zinc), as well as minerals with melting features and exsolution textures were found. Presumably, they are relic signs of an ancient impact, whose main traces were washed away by late-Quaternary fluvial streams.

*Key words:* native silver, impact minerals, ancient impact, metallic spherules, ring structures, troilite, Rybinsk storage reservoir.

Северо-западная часть Рыбинского водохранилища – интересный природный объект, где наряду с самой котловиной обнаружено около двух десятков кольцевых структур диаметром от 0,5 до 5 км, выраженных в современном рельефе в виде круглых и эллипсовидных озер, дуговых заливов и кольцевых раздувов затопленных речных долин (рис. 1). Часто эти структуры сконцентрированы в группы по несколько штук, иногда рас-

положены в виде линейных цепочек с преобладающим направлением с юго-востока на северо-запад. Некоторые из крупных структур имеют концентрически-зональное строение. Три из них ранее предположительно были отнесены к импактным [2].

**Начало истории.** Авторы высказали предположение, что эти кольцевые структуры образовались в результате наклонного столкновения с Землей крупного



**Рис. 1.** Кольцевые структуры на северо-западе Рыбинского водохранилища:

выделенный контур – участок работ «Противье», цифры – места отбора проб и их номера

астероида, распавшегося в атмосфере на отдельные фрагменты вследствие аэродинамического разрушения. Для проверки этой гипотезы в мае 2015 г. было проведено полевое изучение и отбор нескольких шлиховых проб на одной из этих кольцевых структур, представляющей собой кольцевую раздув затопленной долины р. Молога к северу от пос. Противье (см. рис. 1), с целью выявления минералогических признаков ударного взаимодействия во вмещающих породах. Микронзондовые исследования микрочастиц, прежде всего магнитных, были проведены в геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН, где ранее в рамках проектов РФФИ 10-05-00117а и 13-05-348а подробно изучались состав и морфология магнитных частиц и самородных метал-

лов как индикаторов импактных событий. Результаты лабораторных работ показали, что минералы тяжелой фракции шлиховых проб представлены главным образом ильменитом, титаномагнетитом, магнетитом и другими оксидами и гидроксидами железа, цирконом и реже монацитом (рис. 2, а–б). В целом, ассоциация минералов однообразна и типична для всех изученных проб и соответствует прибрежно-морскому происхождению исходной породы, представленной мелкозернистым песком и супесью, за одним исключением.

Во всех пробах было обнаружено достаточно большое количество микро- и наночастиц самородного серебра (см. рис. 2), представленного в основном неокатанными чешуйками разнообразной формы с острыми

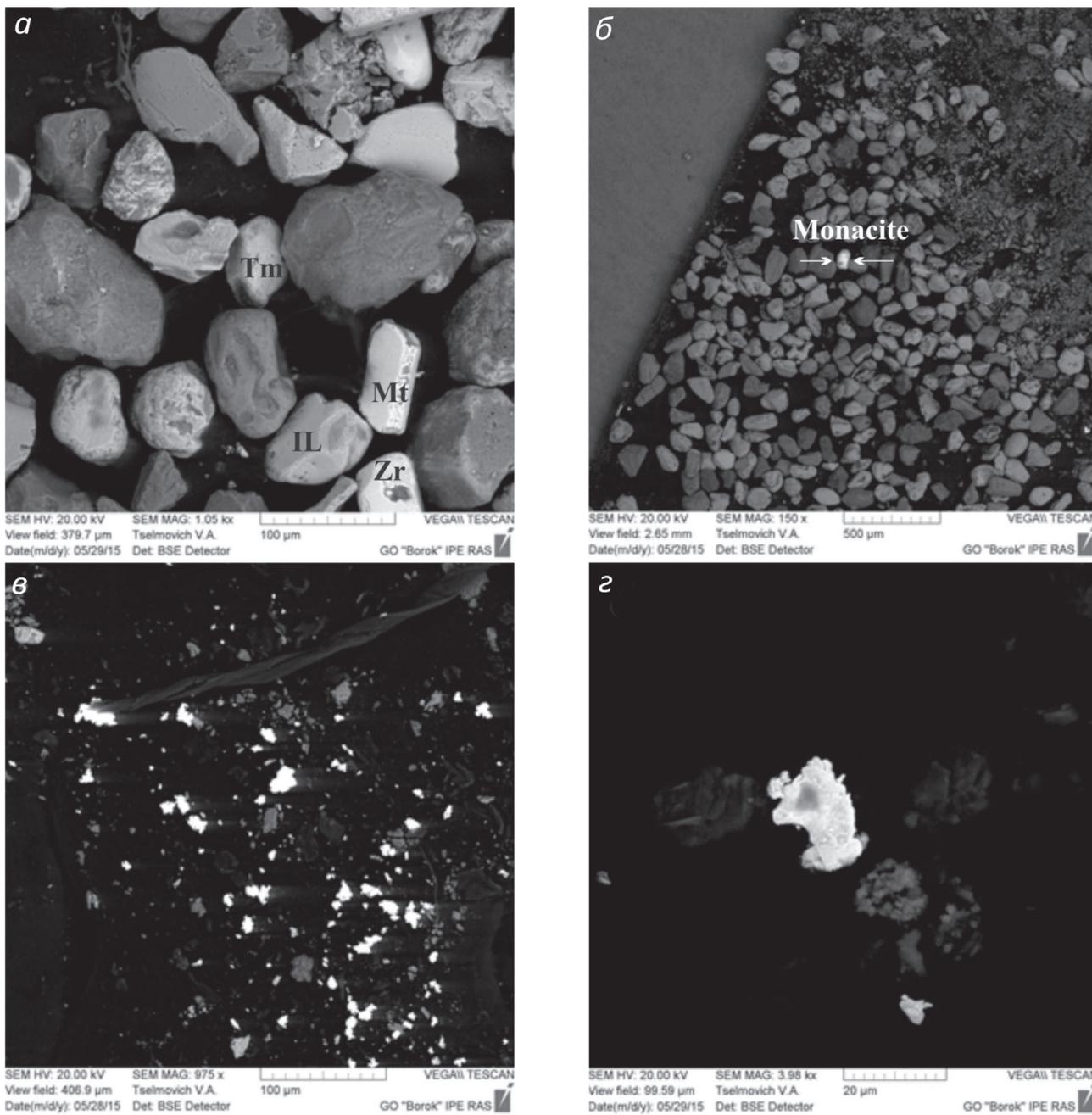


Рис. 2. Фотографии основных минералов тяжелой фракции проб (а, б) и серебра (белое) в пробе (в) и детали строения отдельных зерен серебра (з)

краями, часто уплощенными. Это свидетельствует об их незначительном переносе, так как серебро – ковкий минерал. Но встречаются и оплавленные изометричные зерна, очень мелкие – от 0,2 до 25 мкм, с преобладающим размером около 10 мкм. По морфологическим характеристикам (размеры, форма, окатанность) самородное серебро явно диссонирует с другими рудными минералами. Следует обратить внимание на тот факт, что зерна серебра данного размера вообще остались в

шлихе, а не были смыты в процессе промывки. Это означает, что в исходной породе серебра должно присутствовать значительно больше.

Общий анализ полученных результатов и имеющихся геологических данных позволил предположить 5 возможных версий появления серебра в этих породах:

**Сингенетическая.** Серебро было отложено в породах в процессе формирования песчаной толщи морских осадков в пермо-триасовое время.

**Аллювиальная.** Серебро было принесено вместе с аллювием при размыве какого-то коренного источника, расположенного в бассейне р. Молога.

**Флювиальная.** Серебро было занесено с Балтийско-го щита четвертичными водно-ледниковыми потоками.

**Импактная.** Серебро было инъецировано в песчаники и рассеяно на территории вместе с отложениями ударных выбросов в результате столкновения с Землей астероида, в составе которого оно присутствовало в значимом количестве.

**Антропогенная.** Заражение пород серебром произошло в результате антропогенного воздействия человека, так как до затопления на прилегающей территории долгое время велась активная человеческая деятельность (церковная и хозяйственная серебряная утварь, деньги и др.) или в результате каких-то специфических выбросов Череповецкого металлургического комбината.

Прояснить ситуацию и отдать предпочтение какой-либо из версий можно было только путем расширения площади опробования и литологическим разнообразием опробуемых пород. Поэтому для выявления возможных причин и (или) источника появления аномальных концентраций самородного серебра, а также генезиса кольцевых структур в июле и сентябре 2015 г. было проведено дополнительное опробование рыхлых отложений на обширной территории по периметру Рыбинского водохранилища и на двух локальных участках – «Васюково» и «Бор-Тимонино» (рис. 3).

**Методика работ.** Всего было отобрано 45 проб из разных типов (современный аллювий, морена, условно-коренные рыхлые породы) рыхлых четвертичных отложений. Материал отобранных проб был представлен, главным образом, мелкозернистыми песками, супесями, реже глиной, а в моренных образованиях в значительном количестве присутствовала «чужеродная» гравийно-галечная составляющая. Почти все пробы, за исключением современного аллювия рек, отбирались в рыхлых отложениях с помощью садового бура диаметром 250 мм, с глубины 0,5–1,0 м от поверхности. Обогащение проб проводилось шлиховым способом, в тазике с двумя неодимовыми магнитами, до серого шлиха. Минералогический и микрозондовый анализ всех 45 проб был проведен в геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН. Микрозондовый анализ проводился с помощью сканирующего электронного микроскопа «Тескан Вега II» с приставкой «Draco» для энергодисперсионного анализа при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе пучка 200 пА локальностью 1–2 мкм. Исследовались преимущественно магнитные минералы тяжелой фракции шлиховых проб и, частично, немагнитные. Для 35 проб был проведен полуколичественный спектральный анализ в Аналитическом центре Бронницкой геолого-геохимической экспедиции (БГГЭ) ФГУП «ИМГРЭ». Кроме этого, на двух локальных участках дополнительно были отобра-

ны и проанализированы две пробы воды из подземных источников.

**Результаты работ. Минералогический анализ** проб показал, что их гранулометрический состав достаточно однороден и соответствует преимущественно классу крупности –0,2 мм, что свидетельствует о хорошей сортированности опробуемых отложений (вероятно озерных или озерно-ледниковых). Отдельные пробы характеризуются пестрым гранулометрическим составом. В них в значительном количестве присутствует более крупный материал (классов крупности: +1 мм., –1...+0,5 мм и –0,5...+0,2 мм), что обычно для моренных суглинков. Преобладают зерна 2–3 класса окатанности: угловато окатанные и полуокатанные, а также единичные хорошо окатанные зерна. В отдельных пробах отмечаются практически неокатанные зерна магнетита.

В составе проб было выделено 3 группы минералов: терригенные, аутигенные и предположительно импактного происхождения.

**Группа терригенных минералов** составляет основную часть всех проб. Пробы характеризуются однотипным набором терригенных минералов, но соотношение их в отдельных пробах варьирует. Они представлены ильменитом, магнетитом, гидроксидами железа, роговой обманкой и эпидотом, в количестве первых процентов отмечаются гранат-альмандин, турмалин и циркон. В виде следов и знаков во всех пробах присутствуют также рутил, монацит, апатит. Кианит, ставролит, сфен, анатаз, корунд, коллофан, гранат-уваровит, клинопироксен, хромшпинелид встречаются в отдельных пробах в единичных знаковых количествах.

Основную же часть серого шлиха во всех пробах составляет кварц, представленный угловато окатанными, прозрачными и полупрозрачными зернами размером 0,15–0,1 мм. Также в незначительных количествах присутствуют угловато-окатанные зерна измененных полевых шпатов.

**Аутигенные минералы** представлены лимонитом, вивинитом и пиритом, которые отмечаются в небольшом количестве лишь в единичных пробах.

В отдельных шлиховых пробах в единичных количествах присутствуют специфические образования, предположительно **импактного происхождения** (или фоновая космическая пыль), представленные магнитными сферами размером <0,1 мм, металлическими пластинками серебристо-серого цвета с неровными, слабо загнутыми краями – следами слабого окатывания, размером 0,1–0,2 мм, магнитной металлической стружкой размером 0,1–0,15 мм и стекловатыми частицами каплевидной формы, полупрозрачными, бесцветными или пятнисто окрашенными в серовато-белесый цвет, обладающие магнитными свойствами, а также шлаковидными частицами размером 0,15–0,25 мм.

В целом, подобный гранулометрический и минеральный состав проб, невысокая степень окатанности

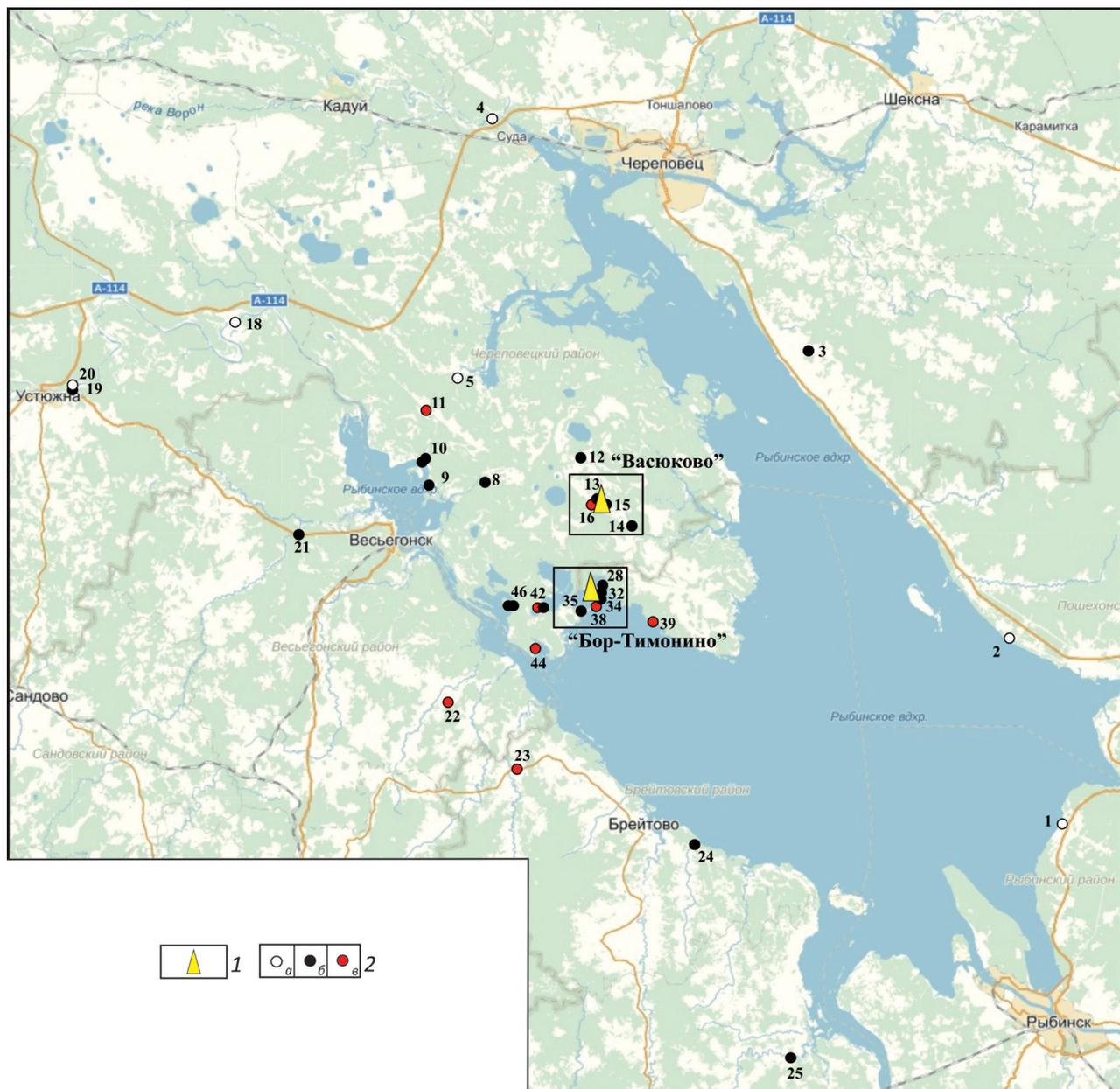


Рис. 3. Схема опробования территории Рыбинского водохранилища с результатами спектрального анализа по серебру:

1 – места отбора проб воды из подземных источников; 2 – результаты полуколичественного спектрального анализа на Ag: а – пробы не анализировались, содержание Ag (в массовых долях %): б – от  $1 \times 10^{-5}$  до  $1 \times 10^{-4}$ , в – от  $1 \times 10^{-4}$  до  $1 \times 10^{-3}$ ; цифры – номера проб; выделенные контуры – участки работ

зерен минералов свидетельствует о генетической принадлежности опробуемых отложений к озерно-ледниковому типу. По-видимому, отложения сформировались при размыве морен, обогащенных экзотическим материалом пород, распространенных на территории Балтийского щита. Так, роговая обманка, слюда могли поступать за счет разрушения гнейсов, алмадин, ставролит, кианит – кристаллических сланцев, а сфен, монацит, апатит – щелочных пород.

Микрозондовый анализ показал, что набор главных минералов тяжелой фракции для всех вновь отобранных проб не претерпел изменений и представлен, как и в пробах на участке «Противье», ильменитом, титаномагнетитом, магнетитом, другими оксидами и гидроксидами железа, а также цирконом и монацитом. Это подтверждает тезис об однообразии исходных пород территории и (или) геологического процесса, их сформировавшего.

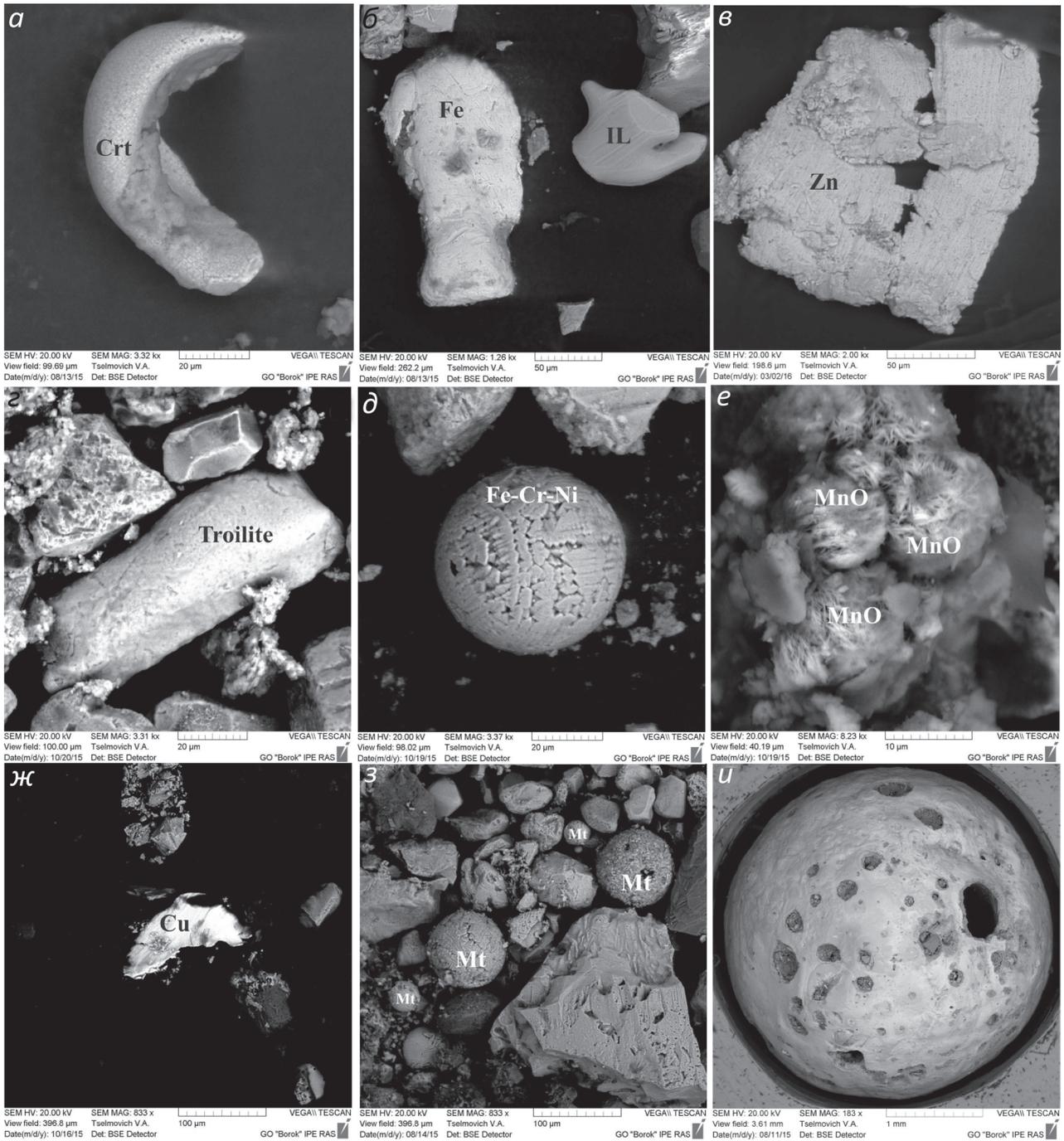


Рис. 4. Структуры плавления зерна хромита (а), самородное железо и оплавленный ильменит (б) в пробе 16; самородный цинк в пробе 29 (в); троилит в пробе 34 (д); сфера Fe-Cr-Ni состава в пробе 32 (е); предположительно выветрелые агрегаты псиломелана (е); чешуйка самородной меди в пробе 28 (ж); anomальное количество магнетитовых шариков в пробе 22 (з); полая магнетитовая мегасфера диаметром 3 мм из пробы 20 (и)

Серебро визуально было обнаружено только в 3-х пробах из 45, около 10 зерен присутствует в пробе 4, отобранной в современном аллювии р. Суда. Здесь его наличие можно увязать с выносом из бассейна р. Петух, где расположена большая группа округлых озер, возможно того же генезиса. Единичные зерна серебра

также обнаружены в пробах 9 и 10, отобранных в коренных породах обрамления кольцевого залива, относящегося, по мнению авторов, к выделяемым на этой территории кольцевым структурам. Зерна серебра здесь такой же формы и размера, как и обнаруженные ранее в структуре «Противье», что свидетельствует об

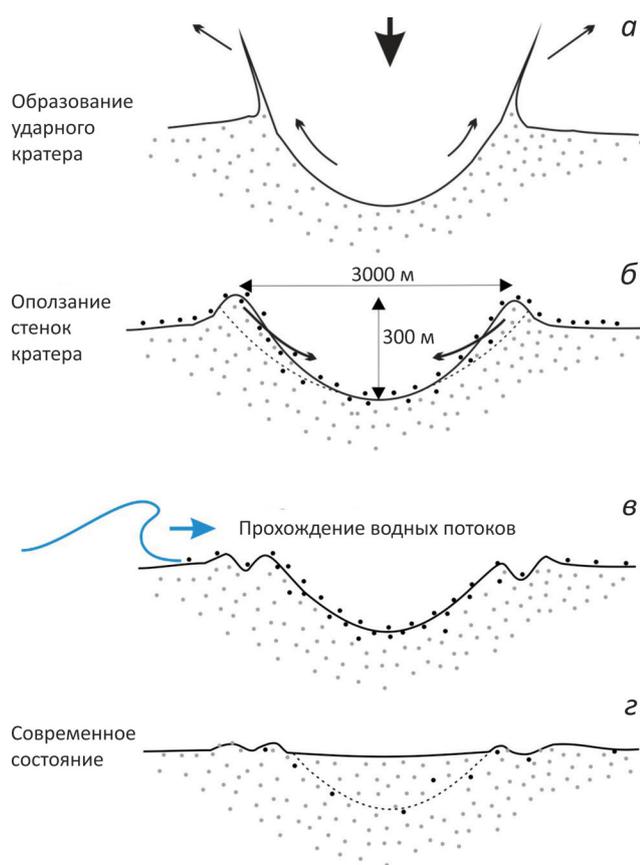


Рис. 5. Схема, иллюстрирующая основные физические процессы, повлиявшие на становление рельефа территории:

черными точками условно показаны минералы-индикаторы ударного процесса

их едином источнике и процессе образования.

**Результаты полуквантитативного спектрального анализа** показали наличие серебра во всех проанализированных пробах в отличие от результатов минералогического и микрозондового анализов. Это, по-видимому, связано с небольшим объемом пробы, используемой для подготовки препарата к микрозондовым исследованиям. Массовое содержание Ag колеблется от  $1 \times 10^{-5}$  до  $1 \times 10^{-3}\%$ , достигая в некоторых пробах промышленных значений. При этом прослеживается определенная приуроченность мест повышенных концентраций к кольцевым структурам, которые могли служить своеобразными гидродинамическими ловушками для частиц серебра. Содержание других микроэлементов однообразно для проб из различных типов рыхлых отложений, будь то аллювий, морена или мощная толща мелкозернистых песчаников. Это – косвенное свидетельство образования данных отложений в результате одного глобального процесса. И тем удивительнее скачки (с амплитудой в 2 порядка) содержания серебра

в пробах.

Помимо поисков серебра, на локальных участках были продолжены работы по обнаружению признаков ударного образования овальных внутренних озер на участке «Васюково» и радиально-кольцевых депрессий на участке «Бор-Тимонино».

В связи с сильной заболоченностью территории (мощность торфа  $>2,5$  м) авторам удалось отобрать ближайшую пробу 16 только на расстоянии 1,1 км от оз. Васюковское, на границе перехода приподнятой гряды в заболоченную равнину. Именно в ней были обнаружены наиболее явные признаки импакта – зерна хромита со структурами плавления (рис. 4, а), оплавленного ильменита и самородного железа (см. рис.4, б). В других близлежащих пробах 6 и 7 зафиксированы единичные магнетитовые шарики, Fe-Al сплав, зерна хромита и когенита. В пробах 13 и 15, расположенных на гряде, ничего особенного не обнаружено. Более того, в пробе 16 по данным спектрального анализа зафиксировано максимальное содержание серебра из всех отобранных проб на данной территории –  $1 \times 10^{-3}\%$  (килограмм на тонну!).

На участке «Бор-Тимонино», включающем две радиально-кольцевые структуры, ранее описанные как возможные астроблемы [1], было отобрано 10 проб: 7 из них на структуре «Осиновик» и 3 пробы на структуре «Тимонино» (см. рисунки 1 и 3). Здесь также в некоторых пробах были обнаружены минералы-индикаторы импактного процесса. Помимо самородных Fe и Cu, выявлены признаки плавления титаномагнетита и хромита, тонкие структуры распада ильменита (по-видимому, эти структуры вулканического происхождения), обнаружена сферула Fe-Cr-Ni состава в пробе 32 (см. рис. 4, д), самородные медь в пробе 28 (см. рис. 4, ж) и цинк в пробах 29 (см. рис. 4, в), 30 и 38, а в пробе 34 – минерал метеоритов(!) – троилит (см. рис. 4, з). Но все же общее количество таких минералов явно недостаточно для однозначной идентификации этих структур как ударных кратеров. Однако небольшому количеству импактных минералов-индикаторов в пробах, а также морфологическим особенностям строения этих структур, можно дать объяснение в рамках возможной геологической истории их формирования (рис. 5).

Главным фактором, повлиявшим на концентрическое строение этих структур, по-видимому, является характер вмещающих структуры пород – несвязанные (или слабосвязанные) рыхлые мелкозернистые осадочные породы. Падение любого высокоскоростного космического тела приводит к образованию ударного кратера в породах мишени в пропорции (глубина/диаметр) в среднем 1:10 [4]. В данном случае при максимальном диаметре структур около 3 км глубина кратеров должна была составлять, соответственно, около 300 м. В монолитных горных породах кратер подобной формы возможно и сохранился бы довольно долго, но в рыхлых породах такое невозможно. И вскоре, под действием

силы тяжести, произошло оползание стенок кратера вместе с валом вниз по склону, в сторону центра структуры (см. рис. 5, б). В дальнейшем, определяющую роль в формировании современной геолого-геоморфологической ситуации, сыграли водные потоки, прокатившиеся по этой территории в конце четвертичного периода по направлению с северо-запад на юго-восток (см. рис. 5, в). Они смыли с поверхности значительный слой рыхлых пород, в том числе и отложения ударных выбросов (одни из основных признаков ударных структур) вместе с ударными минералами и заполнили кратеры «чужеродными» рыхлыми отложениями (см. рис. 5, з).

Интересные результаты показала проба 42, отобранная в 100 м от оз. Хотавец (см. рис. 3). Помимо большого содержания Ag ( $30 \times 10^{-5}$  массовых долей %), в ней было обнаружено несколько достаточно крупных осколков стекловидных образований, причем химический состав, замеренный в разных точках одного осколка, заметно различается (рис. 6). Это непостоянство соотношения химических элементов даже в одном образце, возможно, также является признаком импактного процесса.

В отличие от проб, отобранных в непосредственной близости от кольцевых структур, в пробах по периметру Рыбинского водохранилища было обнаружено мало характерных для импакта минеральных ассоциаций. В основном это фоновая космическая пыль в виде магнетитовых шариков и изредка самородного железа [2]. Исключение составляет только проба 22, в которой присутствует большое количество магнетитовых сферул (см. рис. 4, з), и проба 4, отобранная из аллювия крупной р. Суда на севере изучаемой территории (см. рис. 3). В ней, помимо серебра, были обнаружены магнитные и стеклянные сферулы в количестве 35 и 3-х знаков, в классе крупности  $-0,5 \dots +0,2$  мм, которые, возможно, относятся к образованиям импактного происхождения. Помимо этого в пробе присутствует повышенное количество практически неокатанных кристаллов магнетита октаэдрического габитуса, а также их сростков и обломков. По-видимому, он оказался в аллювии в результате разрушения магматических пород (выветрелых гранитоидов, гранито-гнейсов и др.), угловатые обломки которых встречаются в шлихе в классе крупности +1 мм. Так как с этими пробами связаны и повышенные концентрации серебра, дополнительные аргументы приобретает флювиальная версия привноса его сюда водными потоками.

Нельзя обойти вниманием и интересную находку поллой магнетитовой «мегасферы» диаметром около 3 мм (см. рис. 4, и), обнаруженной в пробе 20, которая была отобрана в современном русле р. Молога из-под огромного валуна недалеко от г. Устюжна. (Термин «мегасфера» использован здесь условно для того, чтобы подчеркнуть её отличие от фоновых микросфер диаметром 1–50 мкм). Именно такие шарики были впервые обнаружены во время экспедиции на судне «Челленджер» (1872–1876) в глубоководных красных глинах Атлантики, отнесены Дж.Мюрреем к космической пыли и названы «космическими шариками» [5].

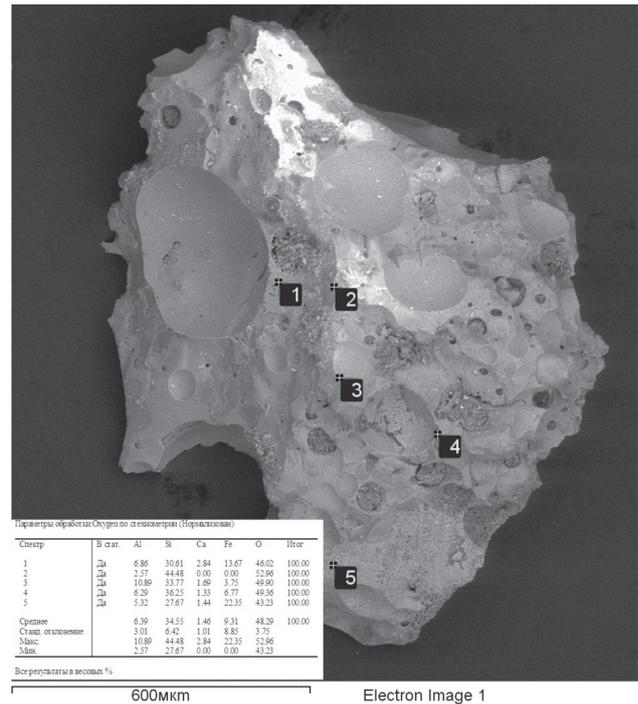


Рис. 6. Результаты микрозондового анализа химического состава стекла в пробе 42

Интересные данные получены по результатам анализа 2 проб из подземных грунтовых вод на территории Дарвинского заповедника. Одна проба была отобрана из колодца глубиной около 6 м в д. Васюково, расположенной на борту приподнятой гряды. Вторая – из скважины глубиной 11 м на кордоне Бор-Тимонино, на валу, разделяющем две крупные концентрические кольцевые депрессии – «Тимонино» и «Осинович», предположительно идентифицируемые авторами как древние ударные кратеры (астроблемы) (см. рис. 3). Вмещающие породы в обоих случаях представлены мелкозернистыми песками, а расстояние между местами отбора проб по прямой составляет около 13 км. Результаты исследований приведены в таблице.

Как видно из таблицы, в пробе из скважины «Тимонино», по сравнению с пробой «Васюково», содержание Fe, Ni и Zn на порядок выше, содержание Mn даже превышает ПДК в 2 раза, а содержание Ag выше в 4 раза. При этом на порядок меньше V и, в целом, жесткость воды меньше в 2 раза. Такие резкие изменения химического состава микроэлементов можно объяснить другой генетической природой процесса образования кольцевых структур. Одним из вариантов мог быть импактный процесс, при котором во вмещающие

## Результаты исследований элементного анализа воды

Элемент	ПО (предел обнаружения), мг/л	Содержание элементов в образце 9380 «Васюково», мг/л	Содержание элементов в образце 9518 «Тимонино», мг/л	Нормы ПДК, мг/л	Погрешность определения, ±Д, мг/л
Li	0,00001	0,0022	0,0037	0,3	0,0007
B	0,0001	0,027	0,0099	0,5	0,0017
Na	0,0003	8,0	4,2	200	Не уст
Mg	0,00005	15	6,7	50	Не уст
Al	0,00005	0,0065	0,0039	0,5	0,0007
Si	0,02	6,2	4,7	10	Не уст.
P <sub>общ</sub>	0,01	0,19	0,20	3,5	0,03
K	0,002	0,76	0,58		Не уст.
Ca	0,01	47	27	25–130	Не уст.
V	0,00001	0,0023	0,00024	0,1	
Cr <sub>общ</sub>	0,00005	0,0014	<ПО	0,5	
Mn	0,00001	0,0055	0,21	0,1	0,02
Fe <sub>общ</sub>	0,00001	0,018	0,17	0,3	Не уст.
Co	0,000005	0,00016	0,00018	0,1	0,00006
Ni	0,00001	0,00050	0,012	0,1	0,002
Cu	0,000005	0,00092	0,00028	1	
Zn	0,00005	0,019	0,18	5	0,02
As	0,00002	0,0019	0,0011	0,05	
Se	0,0002	<ПО	<ПО	0,01	
Rb	0,000002	0,00057	0,00059	0,1	0,00013
Sr	0,000001	0,064	0,037	7	0,005
Mo	0,000005	0,00052	0,00035	0,25	0,00009
Ag	0,000002	0,000002	0,000008	0,05	
Cd	0,000005	0,000025	<ПО	0,001	
Sb	0,000002	0,000079	0,00008	0,05	
Ba	0,000001	0,026	0,019	0,1	0,003
Tl	0,000001	0,000020	0,000003	0,0001	
Pb	0,000003	0,00015	0,00044	0,03	0,00011
Общая жесткость мг-экв/л*		3,6	1,9		
PH		7,3	7,41	6–9	0,05

породы инъецируется большое количество чужеродного вещества (см. рис. 6). Так, повышенные концентрации в подземных водах Mn и Zn можно объяснить находками в пробах из структуры «Осиновик» выветрелого псилломелана и самородного цинка, окисление и разрушение которых и приводит к такому результату (см. рис. 5). В пользу ударного процесса также свидетельствуют повышенные концентрации Fe и Ni, являющиеся характерными элементами метеоритов.

**Предварительные выводы.** Главный практический

результат проведенных работ – обнаружение в рыхлых породах северо-западного обрамления Рыбинского водохранилища самородного серебра в виде микро- и наноразмерных частиц, причем в концентрациях, достигающих в некоторых пробах промышленных значений. Причина появления серебра в этих породах и его первоисточник пока неясны. Данные спектрального анализа о наличии серебра во всех типах опробованных пород, включая морену, пока отводят сингенетическую, аллювиальную и антропогенную гипотезы на

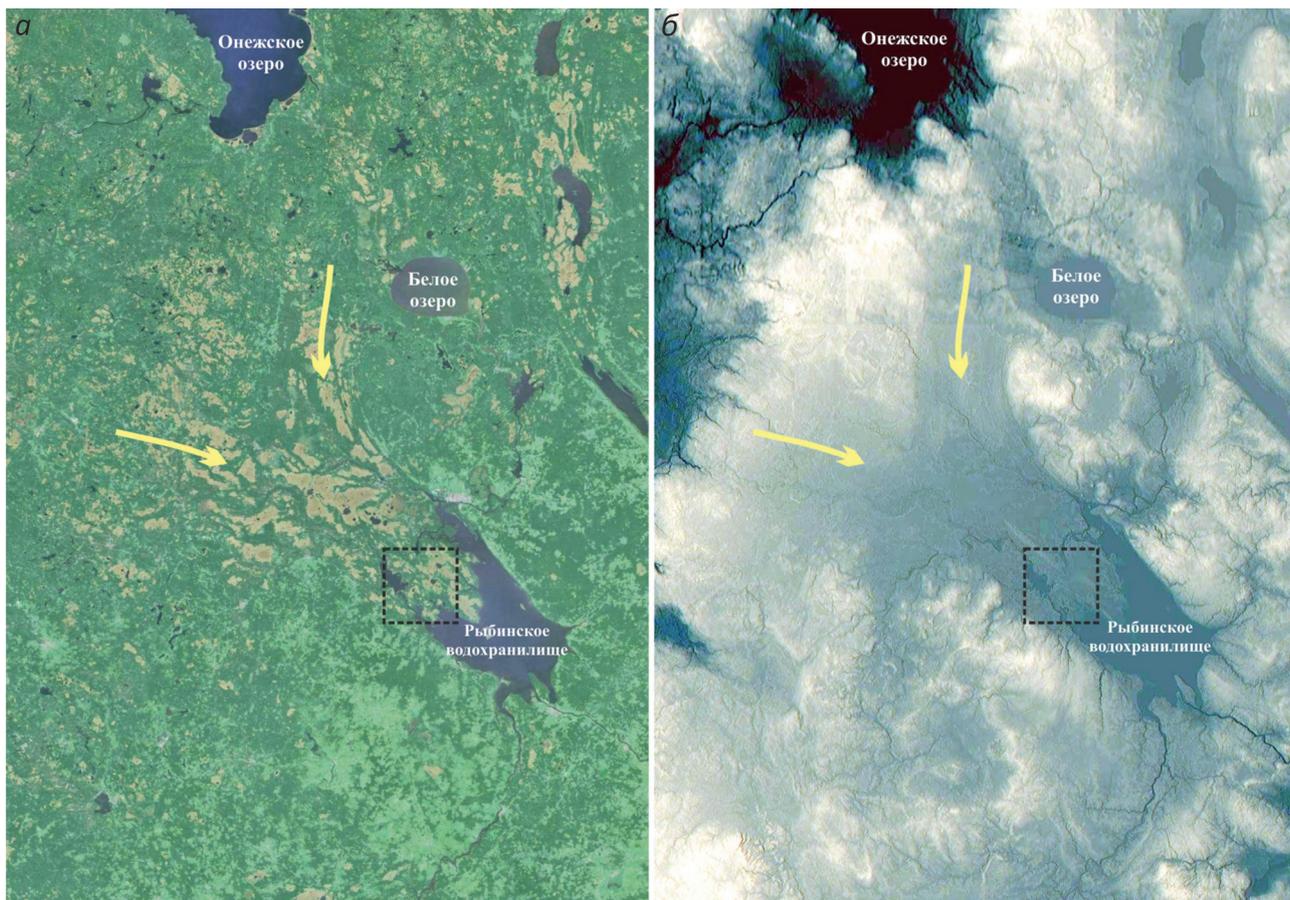


Рис. 7. Космическое изображение (а) и цифровая карта рельефа (<http://maps-for-free.com>) (б) территории вокруг Рыбинского водохранилища:

выделенный контур – изучаемая площадь; стрелками показаны основные направления потоков

второй план и склоняют авторов к флювиальной гипотезе его появления здесь. Более того, анализ космического изображения окружающей территории (рис. 7, а) и характера рельефа (см. рис. 7, б) позволяет выделить два главных направления возможного привноса его на изучаемую площадь: одно с севера, со стороны Кольского полуострова, и второе с запада, со стороны южной Скандинавии и Балтики. Пока данные говорят в пользу того, что серебро было принесено водными потоками именно с севера, со стороны Онежского озера. Но, даже если удастся выяснить направление переноса, остается открытым вопрос о его первоисточнике.

Месторождения серебра есть в Скандинавии, на Кольском п-ове, в Белом море. Но там серебро представлено минеральными частицами разного размера, включая самородки. Если оно принесено отсюда, то почему здесь встречаются исключительно микрочастицы, и нет зерен более крупного размера. И каким был этот первоисточник, если серебром заражены породы на обширной территории. Ведь известно, что перенос вещества единовременными бурными водными

потоками ведет не к концентрации вещества, а к его разубоживанию.

Вопрос о природе кольцевых структур на изучаемой площади на данный момент также не имеет однозначного ответа. В ходе работ авторы впервые обнаружили прямые вещественные подтверждения импактной природы кольцевых структур «Осиновик» и «Тимонино» как возможных эродированных астроблем. Они представлены в виде разнообразных в минералогическом плане минералов-индикаторов и характерных изменений в них, а также повышенных на порядок концентрациях некоторых металлов в грунтовых водах непосредственно в самих структурах. Но проблема заключается в том, что по сложившейся традиции, для однозначного признания структуры импактной в ней должен быть в наличии полный набор признаков, присущих этим структурам: центральная горка, вал, геометрические параметры (диаметр, глубина), эруптивная брекчия, планарные структуры, импактные стекла, тагамиты, зювиты и др. В описываемом же случае, с учетом кардинального изменения рельефа водными потоками в

позднечетвертичное время с массовым переносом и переотложением огромного количества рыхлого материала, полного набора этих признаков ожидать не приходится. Поэтому, на основании полученных результатов и с учетом объяснений возможной истории развития этих структур, авторы все же склоняются к тому, что структуры «Осиновик» и «Тимонино» являются относительно древними (старше 100 000 лет) ударными кратерами, претерпевшими с момента своего появления череду преобразований под действием наложенных физических и геологических процессов. К таким процессам можно отнести модификацию структуры под действием силы тяжести, ее размыв и заполнение чужеродным материалом во время прохождения водных потоков, физическое и химическое разрушение оставшихся импактных минералов под воздействием грунтовых вод и др.

В отношении возможного импактного генезиса других многочисленных кольцевых структур, представленных круглыми и эллипсоидными озерами и раздувами рек, вопрос пока остается открытым и требует проведения дополнительных изысканий. Хотя, с другой стороны, какого-либо внятного объяснения появления почти идеально круглых депрессий на платформах с других позиций получить также сложно. На данный момент, присутствию импактных минералов в окружающих эти структуры породах можно дать 3 варианта объяснений: 1 – космическая пыль; 2 – остаточные реликты местного импакта, образовавшего эти кольцевые структуры, но основные следы которого были смыты водными потоками; 3 – ударные минералы могли быть принесены теми же потоками из района Белого или Онежского озер, которые сами могут иметь первоначально импактное происхождение [3]. Кстати, Белое озеро на такую роль очень даже подходит, учитывая его почти идеальную круглую форму и интенсивную отрицательную гравитационную аномалию.

В заключение отметим следующее. Присутствие севера в значимом количестве в мелкозернистой рыхлой осадочной породе, почти в центре Восточно-Европей-

ской платформы, где отсутствуют следы магматической и вулканической деятельности, пока остается загадкой и является интересной и перспективной темой для изучения.

Заслуживает внимания и выявление возможной генетической связи присутствия импактных минералов во вмещающих породах с образованием многочисленных кольцевых депрессий на равнинных территориях, представленных озерами, особенно в тех регионах, где основные характерные признаки ударных событий смыты флювиальными потоками. Это может быть важно и в практическом плане, так как не исключено, что с подобными структурами могут быть связаны и разнообразные месторождения полезных ископаемых.

*Коллектив авторов выражает благодарность заместителю директора ИФЗ РАН по науке А.В.Пономареву за помощь в организации проведения аналитических работ и ведущему научному сотруднику Лаборатории № 104 ИФЗ РАН С.Ю.Милановскому за ценные советы.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Енгальцев С.Ю.* Метеоритные кратеры на севере Ярославской области. Геология XXI века. – Саратов: СО ЕАГО, 2007. С. 95–96.
2. *Космическая пыль и микрометеориты в переходном слое глин на границе мела и палеогена в разрезе Гамс (Восточные Альпы): морфология и химический состав / А.Ф.Грачев А.Ф, О.А.Корчагин, В.А.Цельмович, Х.А.Коллманн // Физика Земли. 2008. № 7. С. 42–57.*
3. *Куликова В.В., Калинин Ю.К., Куликов В.С.* Тагамиты (?) в Заонежье как критерий обнаружения центральной части мишени астроблемы ОНЕГО // Проблемы и перспективы современной минералогии. Юшкинские чтения. – Сыктывкар, 2014. С. 154–156.
4. *Мелон Г.* Образование ударных кратеров: геологический процесс. – М.: Мир, 1994.
5. *Murray J., Renard A.F.* Report on deep-sea deposits based on the specimens collected during the voyage of H.M.S. Challenger in the years 1872 to 1876. Vol. 3. Neil, Edinburg. 1891.