

УДК: 929:551.435.7:551.467/
DOI: 10.31343/1029-7812-2024-18-1-11-16

В.П. Шевченко

Институт океанологии
им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва
E-mail: vshevch@ocean.ru

РОЛЬ А.П. ЛИСИЦЫНА В ИССЛЕДОВАНИИ ВКЛАДА ЗОЛОВОГО И ЛЕДОВОГО ПЕРЕНОСОВ В ПРОЦЕССЫ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

В статье показана роль академика А.П. Лисицына в исследовании осадочного вещества в приводном слое атмосферы, морских льдах и айсбергах. Он начал эти исследования в 1949 г. и впервые показал, что в поставке осадочного вещества в моря и океаны вклад материала, переносимого эоловым путём и льдами сопоставим с вкладом речного стока за пределами маргинального фильтра.

Ключевые слова: А.П. Лисицын, осадочное вещество, эоловый перенос, ледовый перенос, осадконакопление.

АБСТРАКТ

The article shows the role of Academician Alexander P. Lisitzin in the study of sedimentary matter in the surface layer of the atmosphere, sea ice and icebergs. He began these studies in 1949 and for the first time showed that in the supply of sedimentary matter to the seas and oceans, the contribution of material transported by aeolian way and ice is comparable to the contribution of river runoff outside the marginal filter.

Keywords: Alexander P. Lisitzin, sedimentary matter, aeolian transport, ice rafting, sedimentation.

ВВЕДЕНИЕ

Атмосфера – один из каналов обмена и перераспределения вещества на Земле. Тот факт, что атмосфера содержит взвешенные в воздухе частицы аэрозоля, имеет важное значение, оказывая существенное влияние на формирование качества воздуха, дальность видимости, разнообразные гетерогенные химические реакции, происходящие на поверхности частиц аэрозоля, и на климат (Junge, 1963; Кондратьев, Поздняков, 1981). Поэтому важным направлением морской геологии во

второй половине XX века становилось изучение аэрозолей над Мировым океаном и роли эолового (атмосферного) переноса осадочного материала суши в моря и океаны, которому учёные раньше уделяли очень мало внимания. Так же во второй половине XX века были слабо изучены особенности процессов осадконакопления в труднодоступных полярных районах океана (в Арктике и Антарктике). Пионером в этих исследованиях стал выдающийся советский и российский учёный Александр Петрович Лисицын.

ИССЛЕДОВАНИЯ А.П. ЛИСИЦЫНЫМ ВКЛАДА ЗОЛОВОГО И ЛЕДОВОГО ПЕРЕНОСОВ В ПРОЦЕССЫ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

Работы по изучению аэрозолей (воздушной взвеси) в приводном слое атмосферы над Мировым океаном были начаты в Институте океанологии (ИО) АН СССР в 1949 г. А.П. Лисицыным во 2-м рейсе НИС «Витязь» в Охотском море и прилегающей части Тихого океана (Лисицын, 1955). Сбор проб воздушной взвеси производился тогда при помощи мембранных фильтров с использованием вакуумной магистрали агрегата мембранных фильтров. Одновременно отбирали пробы водной взвеси тоже на мембранные фильтры. Отбирали две параллельных пробы эоловой взвеси, из которых одну подвергали детальному изучению под микроскопом, а другую использовали для химического и спектрального анализа. В дальнейшем А.П. Лисицын организовал систематическое изучение аэрозолей в приводном слое атмосферы над Мировым океаном. В ходе более 300 рейсов крупных судов Института океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР и РАН в разные океаны, а также в многочисленных рейсах судов в моря, омывающие берега нашей страны, под его общим руководством был получен огромный материал по распределению, составу и свойствам аэрозольного вещества (Лисицын, 1974, 1978, 2011, 2014).

Принятая нами методика изучения аэрозолей включает как прямые, так и дистанционные методы. К прямым относятся фильтрация воздуха через фильтры разных систем (АФА-ХА, Whatman-41, кварцевые фильтры), сбор взвеси электростатическим методом на нейлоновые сети большой площади (10 м²), которые выставляются на палубе в носовой части корабля (рис. 1). А.П. Лисицын уделял большое внимание использованию сетевого метода сбора проб аэрозолей, т.к. он даёт возможность получить сравнительно большие навески эолового осадочного материала, достаточные для выполнения многих видов анализа, включая

минералогический анализ. Одновременно с этим используются счетчики частиц разных систем, привлекаются спутниковые данные о запыленности атмосферы.



Рис. 1. Нейлоновые сети для сбора аэрозолей на баке НИС «Академик Мстислав Келдыш». 2015 г.
Фото А.А. Барымовой.

А.П. Лисицын стал инициатором и руководителем изучения аэрозолей над морями Арктики. Начались эти исследования в 1991 г. в экспедиции SPASIBA–91, проходившей под руководством А.П. Лисицына на борту НИС «Яков Смирницкий» от порта Архангельск до дельты р. Лены. После экспедиции состав полученных проб изучен комплексно с помощью различных аналитических методов (анализ индивидуальных частиц, инструментальный нейтронно–активационный анализ, атомно–абсорбционная спектрометрия) (Shevchenko et al., 1995). Места отбора сетевых проб аэрозолей в экспедициях под общим руководством А.П. Лисицына показаны на рис. 2. Аэрозольные исследования в морских экспедициях ИО РАН продолжают по настоящее время.

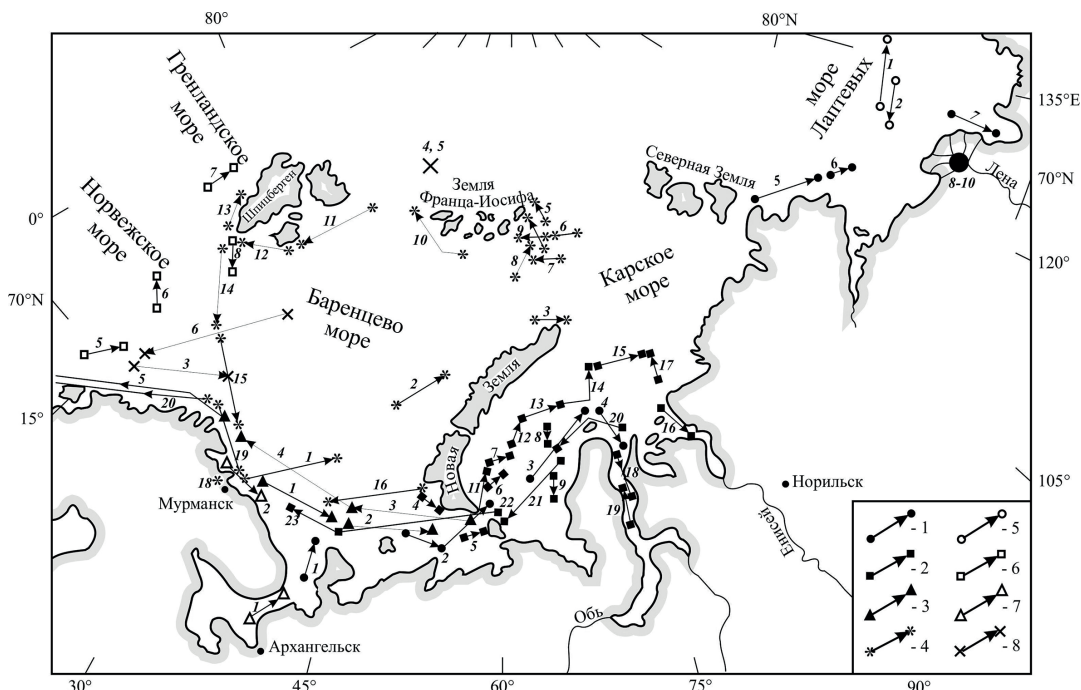


Рис. 2. Места отбора сетевых проб аэрозолей: 1 – экспедиция SPASIBA–91 (август–сентябрь 1991 г.); 2 – 49–й рейс НИС «Дмитрий Менделеев» (август–октябрь 1993 г.); 3 – 31–й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» (сентябрь 1993 г.); 4 – 9–й рейс НИС «Профессор Логачев» (август–октябрь 1994 г.); 5 – ARK–XI/1 рейс НИС «Polarstern» (июль–сентябрь 1995 г.); 6 – 15–й рейс НИС «Профессор Логачев» (июль–август 1996 г.); 7 – 11–й рейс НИС «Академик Сергей Вавилов» (август–октябрь 1997 г.); 8 – 59–й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» (сентябрь 2011 г.). Цифры у стрелок обозначают номера проб в соответствующих рейсах (Шевченко и др., 2021).

По инициативе А.П. Лисицына на Белом море регулярные исследования аэрозолей проводились с 2001 г. на Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ имени М.В. Ломоносова на полуострове Киндо (северо-западное побережье Кандалакшского залива), в 2015 г. такие исследования начались на Балтийской косе (Балтийское море) и на берегу Голубой бухты (Черное море). Дополнительно используются материалы из природных архивов (ловушек эолового материала): снежного и ледяного покрова, лишайников, сфагновых мхов, отложений верховых болот и озёр в водосборных бассейнах морей России.

Лабораторный анализ проб эолового материала проводится по методике, принятой для одновременного изучения проб рассеянного осадочного вещества из других геосфер (сканирующая электронная микроскопия с рентгеновским микронзондом, инструментальный нейтронно-активационный анализ, атомно-абсорбционная спектрометрия, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и др.).

А.П. Лисицын активно развивал сотрудничество в области изучения аэрозолей и вклада эолового материала в процессы осадконакопления с учеными из многих российских и зарубежных организаций. В исследованиях аэрозолей придонного слоя атмосферы над Мировым океаном и на прилегающих водосборах совместно с сотрудниками ИО РАН принимали участие сотрудники Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск; Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва; Института химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, Новосибирск; Института экспериментальной метеорологии Росгидромета, Обнинск; Ростовского государственного университета, Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск; Лимнологического института СО РАН, Иркутск; а также коллеги из зарубежных институтов – Alfred Wegener Institute for Polar Research, Bremerhaven, Germany; Norwegian Institute for Air Research, Oslo, Norway; Geosciences Environment Toulouse, Toulouse, France (Шевченко, 2023).

Со многими зарубежными исследователями аэрозолей (R. Duce, C. Guieu, D. Kadko, J.M. Pacyna, J.P. Prospero, E. Steinnes, M. Uematsu и др.) А.П. Лисицын был знаком лично. Известный финский исследователь аэрозолей и организатор крупных международных проектов М. Kulmala приглашал А.П. Лисицына в составе российской делегации в начале октября 2012 г. на совещание по

международной программе PEEX (Паневразийский эксперимент) в Хельсинки.

В результате исследований сотрудников ИО РАН и их коллег, а также обобщения литературных данных было показано, что большое количество эолового осадочного материала ветрами поставляется с суши в океан и является одним из важных источников терригенного материала в океане (Лисицын, 1974, 1978, 2011, 2014; Шевченко, 2000).

По ряду признаков А.П. Лисицын выделяет зоны аридной седиментации, т.е. определенной климатом (недостатком воды), подготовкой рассеянного аэрозольного вещества на суше, его транспортировкой ветром на разных высотных уровнях и отложением на поверхность Мирового океана. Именно в этих зонах поступает в атмосферу, а затем отлагается в морях и океанах наибольшее количество нерастворимых частиц. По своему размеру это в основном микро- и наночастицы (94% по массе мельче 2 мкм) (Лисицын, 2011).

Обобщив обширный накопленный материал по рассеянному аэрозольному осадочному веществу в атмосфере и его потокам, А.П. Лисицын выделил 4 главных центра подготовки (рассеяния, выдувания) аэрозольного вещества на суше, которыми определяются области захвата, переноса и отложения в океане (Лисицын, 2011):

- Питающая провинция Северной Африки (пустыня Сахара и полупустынный район Сахель). Оттуда рассеянное аэрозольное вещество переносится в основном на северо-запад (в Атлантический океан) и на север (в Средиземное море и Европу).
- Восточно-Азиатский центр развеивания. Питающая провинция Северной Африки продолжается на восток пустынями Аравии, Средней Азии (Каракум, Кызылкум, Муонкум), а ещё восточнее пустынями Китая и Монголии (Такла-Макан, Цайдам, Гоби). Общее направление переноса аэрозолей здесь с запада на восток, в сторону Тихого океана.
- Австралийский центр развеивания.
- Южно-Американский центр развеивания.

Общий вклад эолового рассеянного вещества, ежегодно поступающего в Мировой океан, составляет около 1.6 млрд т (Лисицын, 1978). Этот вклад сопоставим с вкладом осадочного материала речного стока после его прохождения через маргинальные фильтры – 1.8 млрд т /год (Лисицын, 1978), т.е. вклад эолового материала в седиментацию в Мировом океане близок к вкладу речного, но сосредоточен в аридных зонах.

Показано, что роль атмосферных аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана, его морей и водосборов весьма разнообразна. Вклад золотого материала в формирование состава вод Северного Ледовитого океана и его морей вполне сравним с вкладом речной взвеси (за пределами маргинальных фильтров), особенно для таких антропогенных микроэлементов как свинец и кадмий (Шевченко, 2000). Показано, что наиболее сильное воздействие на климат оказывают частицы черного углерода (сажи). Черный углерод – мельчайшие частицы, образующиеся при сжигании органического топлива, горении биомассы (главным образом – лесных и степных пожарах). Сажа, также как и парниковые газы, влияет на радиационные свойства атмосферы.

На основании геохимических исследований и изучения загрязнений арктической атмосферы удалось выявить главные точечные и локальные источники загрязнений (промышленные центры Западной Европы и Северной Америки, Норильск, Кольский п-ов, нефтяные факелы Западной Сибири и северо-востока Европейской части России). Удалось по соотношениям элементов установить "лицо" загрязнений из каждого источника (из крупнейших индустриальных областей), проследить конкретные траектории происхождения воздушных масс в Арктике и связанных с ними конкретных загрязнений, места главной разгрузки воздушных масс (депоцентры), сезонный ход процессов.

В целом, содержание большинства химических элементов (Na, Al, K, Ca, Sc, Fe, Co, Rb, Zr, Cs, Ba, PЗЭ, Hf, Ta, Th, U) в нерастворимой фракции аэрозолей ниже средних значений для верхней части континентальной земной коры (Шевченко, 2000). Наиболее вероятный источник этих элементов – почвы севера Евразии. Содержание Cr, Cu, Zn, As, Se, Br, Ag, Sb, Au, Cd, Pb значительно выше их среднего для земной коры, их основной источник – антропогенный. Наиболее существенные источники загрязнения аэрозолей Российской Арктики – горно-металлургические комбинаты Кольского п-ова, Урала и Норильска, зимой ощущается влияние дальнего переноса из расположенных южнее регионов.

Учитывая значительное обогащение золотого осадочного вещества Pb, Sb, Cd, V, можно предположить, что для этих элементов золотой путь является основным путём их поступления в донные осадки арктических морей (Шевченко, 2000).

Исследования ледовой седиментации А.П. Лисицын начал в 1949 г. во 2-м рейсе НИС «Витязь» в Охотском море. Тогда с глубин до 4 км на расстоянии в сотни километров от ближайшей суши на многих станциях был поднят окатанный, сходный с пляжевым, гравийно-галечный материал. Изучив этот материал, А.П. Лисицын сделал вывод, что это летопись закономерного процесса очень крупного масштаба, связанного с транспортирующей деятельностью морских льдов, и впервые установил основные особенности этого явления для науки об осадкообразовании (Лисицын, 1951, 1958). Представления о закономерностях ледовой седиментации, полученные в Охотском море, А.П. Лисицын существенно расширил и дополнил в 1950–1955 гг., работая в Беринговом море и изучая не только поверхностный слой осадков, но и длинные колонки (Лисицын, 1966). В дальнейшем эти исследования были продолжены в северной части Тихого океана. Представления о ледовой седиментации в северной части Тихого океана были дополнены новыми данными о материале ледового разноса на вершинах подводных гор, а также новыми данными из длинных колонок донных осадков, охватывающих всё четвертичное время (Лисицын, Чернышова, 1970).

В 1955–1960 гг. А.П. Лисицын изучал ледовую седиментацию в Антарктике в экспедициях АН СССР на дизель-электроходе «Обь». Он впервые показал, что в Антарктике, в отличие от морей Дальнего Востока и Арктики, морские льды в осадочном процессе играют малую роль. Здесь нет многолетних морских льдов, и осадочный материал переносится в основном айсбергами (Лисицын, 1963). А.П. Лисицыну и его коллегам удалось закартировать области ледовой седиментации, изучить основные закономерности осадкообразования на современном этапе и для последних десятков и сотен тысяч лет и показать, что Антарктика является уникальным природным аналогом среды и отложений времени четвертичных оледенений (Лисицын, 1958, 1963).

В 1991 г. под руководством А.П. Лисицына были проведены исследования моря Лаптевых и нижнего течения р. Лены, а в 1993 г. они были продолжены в Карском море. В этих экспедициях были начаты исследования процессов ледовой седиментации, которые продолжаются по настоящее время учениками и коллегами А.П. Лисицына.

В 1994 г. А.П. Лисицын опубликовал монографию «Ледовая седиментация в Мировом океане» (Лисицын, 1994), в которой обобщены данные по водной и воздушной взвеси, процессам подготовки и транспортировки осадочного вещества, минера-

логии, геохимии, granulometрии, полученные российскими учёными и их зарубежными коллегами (Лисицын, 1974, 1978; Barnes et al., 1982; Kempema et al., 1989; Pfirmann et al., 1990; Dethleff et al., 1993). Особое внимание уделено количественному подходу в исследованиях: потокам осадочного вещества, скоростям седиментации и абсолютным массам. Показано, что поставка в пелагиаль криогенного осадочного вещества сопоставима по масштабам с поставкой осадочного материала реками. В 2002 г. в издательстве “Springer” на английском языке вышло в свет значительно расширенное и обновлённое издание этой монографии (Lisitzin, 2002). Работу над этой монографией А.П. Лисицын начал весной 1995 г. при поддержке профессора Йорна Тиде (Jörn Thiede), в то время директора Научно-исследовательского центра морских наук GEOMAR (GEOMAR) в г. Киле. В ходе написания этой монографии А.П. Лисицын несколько раз был в командировках в GEOMAR, работал в его библиотеке, обсуждал проблемы полярных морских исследований с немецкими коллегами (Полякова, 2023).

Важным вкладом А.П. Лисицына в понимание осадочного процесса в высоких широтах стало то, что он обобщил результаты изучения не только донных осадков, что делалось много лет (Белов, Лапина, 1961; Лисицын, 1994; Кошелева, Яшин, 1999; Левитан и др., 2007; Stein, 2008), но также прямого инситу изучения осадочного вещества, заключенного в морских льдах и айсбергах, снеге, атмосфере, речной и морской воде, в биогенном материале, вулканогенном веществе, т.е. удалось реализовать возможность сравнительного изучения как осадочного вещества в виде рассеянных его форм (взвесь), так и в концентрированном – в виде донных осадков (Лисицын, 2010).

ЛИТЕРАТУРА

- Белов Н.А., Лапина Н.Н. Донные отложения Арктического бассейна. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 152 с.
- Кондратьев К.Я., Поздняков Д.В. Аэрозольные модели атмосферы. М.: Наука, 1981. 104 с.
- Кошелева В.А., Яшин Д.С. Донные осадки арктических морей. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1999. 286 с.
- Левитан М.А., Лаврушин Ю.А., Штайн Р. Очерки истории седиментации в Северном Ледовитом океане и морях Субарктики в течение последних 130 тыс. лет. М.: ГЕОС, 2007. 404 с.
- Лисицын А.П. К методике изучения галечных отложений открытого моря // Труды Ин-та океанологии АН СССР. 1951. Т. 5. С. 941–945.
- Лисицын А.П. Атмосферная и водная взвесь как исходный материал для образования морских осадков // Труды Ин-та океанологии АН СССР. 1955. Т. 13. С. 16–22.
- Лисицын А.П. О типах морских отложений, связанных с деятельностью льдов // Доклады АН СССР. 1958. Т. 118. № 2. С. 373–376.

А.П. Лисицын показал, что в полярных районах существует явление ледовых насосов нескольких типов: 1) захват осадочного вещества с берега при отрыве льдин в прибрежной зоне; 2) процесс захвата тонкого осадочного вещества взвеси из воды при образовании заприпайных льдов (частицы взвеси как ядра конденсации с последующим всплыванием на поверхность). Область Великой Сибирской полыньи, возникающей у берегов Российской Арктики – главная область работы насоса второго типа (Лисицын, 2010).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

А.П. Лисицын был первым советским геологом, начавшим в 1949 г. уделять серьёзное внимание изучению вклада эолового (воздушного) и ледового переноса осадочного вещества в Мировой океан и в процессы осадконакопления.

В результате исследований А.П. Лисицына, его учеников и коллег (как в России, так и за рубежом) показано, что большое количество осадочного вещества поставляется эоловым путём с суши в океан и является одним из важных источников терригенного материала в океане, играя значительную роль в процессах осадконакопления.

В Арктике и Антарктике важную роль в процессах осадконакопления играет перенос осадочного материала морскими льдами и айсбергами. А.П. Лисицын показал, что для осадочного процесса в Арктике характерен особый тип седиментогенеза – ледовый морской. Для ледовой седиментации в Антарктике главную роль играет поставка в море айсбергового материала в отличие от Арктики, где седиментогенез определяется морскими льдами.

- Лисицын А.П. Донные осадки шельфа Антарктиды // Дельтовые и мелководно–морские отложения. М.: Изд–во АН СССР, 1963. С. 82–89.
- Лисицын А.П. Процессы современного осадкообразования в Беринговом море. М.: Наука, 1966. 574 с.
- Лисицын А.П. Осадкообразование в океанах. Количественное распределение осадочного материала. М.: Наука, 1974. 438 с.
- Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия. М.: Наука, 1978. 392 с.
- Лисицын А.П. Ледовая седиментация в Мировом океане. М.: Наука, 1994. 448 с.
- Лисицын А.П. Новый тип седиментогенеза в Арктике – ледовый морской, новые подходы к исследованию процессов // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. С. 18–60.
- Лисицын А.П. Аридная седиментация в Мировом океане. Рассеянное осадочное вещество атмосферы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 10. С. 1398–1439.
- Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // Мировой океан. Физика, химия и биология океана. Осадкообразование в океане и взаимодействие геосфер Земли / Л.И. Лобковский, Р.И. Нигматулин (ред.). М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
- Лисицын А.П., Чернышова В.И. Каменный материал в донных отложениях северной части Тихого океана // Тихий океан. Т. VI. Кн. 1. С. 237–296.
- Полякова Е.И. А.П. Лисицын и российско–германское сотрудничество // Академик Александр Петрович Лисицын. Очерки, воспоминания / И.А. Немировская, Н.В. Политова (отв. ред.). М.: Научный мир, 2023. С. 200–209.
- Шевченко В.П. Аэрозоли – влияние на осадконакопление и условия среды в Арктике. Диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого–минералогических наук. М.: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2000. 213 с.
- Шевченко В.П. Роль А.П. Лисицына в исследовании вклада эолового переноса в процессы осадконакопления // Академик Александр Петрович Лисицын. Очерки, воспоминания / И.А. Немировская, Н.В. Политова (отв. ред.). М.: Научный мир, 2023. С. 188–194.
- Шевченко В.П., Голобокова Л.П., Сакерин С.М., Лисицын А.П., Кабанов Д.М., Новигатский А.Н., Панченко М.В., Политова Н.В., Полькин В.В., Поповичева О.Б., Ходжер Т.В. Рассеянное осадочное вещество атмосферы над Баренцевым морем // Система Баренцева моря / под ред. А.П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. С. 127–142.
- Barnes P.W., Reimnitz E., Fox D. Ice–rafting of fine–grained sediment, a sorting and transport mechanism, Beaufort Sea, Alaska // Journal of Sedimentary Petrology. 1982. V. 52. № 2. P. 493–502.
- Dethleff D., Nürnberg D., Reimnitz E., Saarso M., Savchenko Y.P. East Siberian Arctic Region Expedition '92: the Laptev Sea – its significance for Arctic sea–ice formation and transpolar sediment flux // Berichte zur Polarforschung. 1993. V. 120. P. 3–44.
- Junge C.E. Air Chemistry and Radioactivity. New York, London: Academic Press, 1963. 382 p.
- Kempema E.V., Reimnitz E., Barnes P.W. Sea ice sediment entrainment and rafting in the Arctic // Journal of Sedimentary Petrology. 1989. V. 59. № 2. P. 308–317.
- Lisitzin A.P. Sea–ice and Iceberg Sedimentation in the Ocean: Recent and Past. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002. 563 p.
- Pfirman S., Lange M.A., Wollenburg I., Schlosser P. Sea ice characteristics and the role of sediment inclusions in deep–sea deposition: Arctic–Antarctic comparison // Geological History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic / Eds. Bleil U., Thiede J. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. P. 187–211.
- Shevchenko V.P., Lisitzin A.P., Kuptzov V.M., Ivanov G.I., Lukashin V.N., Martin J.M., Rusakov V.Yu., Safarova S.A., Serova V.V., Van Grieken R., Van Malderen H. Composition of aerosols over the Laptev, Kara, Barents, Greenland and Norwegian seas // Berichte zur Polarforschung. 1995. V. 176. P. 7–16.
- Stein R. Arctic Ocean Sediments: Processes, Proxies and Paleoenvironment. Amsterdam: Elsevier, 2008. 592 p.