

Б. П. АГАФОНОВ

ЛИТОПОТОК В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА БАЙКАЛА

На основе многолетних измерений сноса вещества составлена количественная модель литопотока в Северо-Байкальскую котловину. Установлено, что в сносе продуктов выветривания горных пород с северо-западного побережья преобладают склоновые процессы (оползни, обвалы, осыпи, крип и др.), а с противоположной, юго-восточной стороны — русловые. Сравнимые части бассейна контрастно различаются по скорости денудации и по рядам значимости процессов в поставке вещества в котловину, что важно для более глубокого познания осадконакопления и функционирования экосистемы Байкала.

Long-term measurements of the ablation of material were used to develop the model of lithostream into the North Baikal depression. It is established that the slope processes (landslides, debris avalanches, taluses, creep, etc.) prevail by a factor of 3.2 in the ablation of rock weathering products, whereas the channel processes on the opposite, southeastern side, prevail by a factor of 1.5. The parts of the basin used in the comparison differ contrastingly in denudation rate and in series of significance of the processes as regards the supply of material into the depression, which is important for a better understanding of sedimentation, and of the functioning of Baikal's ecosystem.

Северо-Байкальская котловина — резко асимметричная рифтогенная депрессия. Ее северо-западный борт, сформированный по мощному глубинному сбросу, в среднем в два раза круче юго-восточного склона, соответственно 12 и 6° [1]. Еще более асимметричен связанный с морфологией котловины ее водосборный бассейн, более 73 % площади которого расположено к юго-востоку от акватории озера. Несмотря на такую резко выраженную структурно-тектоническую и водосборно-бассейновую асимметрию, литопотоки с северо-западного и северо-восточного побережий незначительно различаются по количеству выносимого в Северо-Байкальскую котловину терригенного вещества.

В то же время эти две расположенные по разные стороны озера части литосборного бассейна существенно разнятся абсолютными величинами денудационного среза земной поверхности. Отличаются они и по значимости экзогенных процессов в сносе вещества в котловину. Задача данного исследования — установить конкретно выраженные аспекты сноса — их величины, коэффициенты, а также особенности их проявления в геосистеме в целом и в разных ее частях.

Решению задачи количественного определения величин сноса продуктов выветривания горных пород в Северо-Байкальскую котловину с ее северо-западной и северо-восточной сторон предшествовали организация сети пунктов стационарных наблюдений за экзогенными процессами, многолетние измерения их скорости и выделение участков побережья, однотипных по поступлению вещества в озеро с каждого из них. Впервые получены данные об объемах поставляемого рыхлого материала в Байкал абразией, крипом, плоскостным смывом, селями, оползнями, обвалами [2]. При этом учитывалось, что довольно существенное количество осадочного материала поставляли в озеро малые реки — Давша, Шумилиха и др. [3].

С помощью метода экстраполяции изменены прежние данные о поступлении взвешенного и влекомого вещества, рассчитанные ранее по измерениям только на крупных притоках Байкала. При оценке поступления продуктов выветривания горных пород в Северо-Байкальскую котловину наряду с нашими материалами использованы опубликованные сведения о речном стоке химически растворенного [4], взвешенного и влекомого [3] веществ и эоловом сносе [5].

Сравнимые северо-западное и северо-восточное побережья разграничены на севере Кичеро-Верхнеангарской дельтой. На юго-западе в северную часть озера входит прол. Малое Море, далее пограничная линия протягивается от северной оконечности о. Ольхон по водоразделу подводного Академического хребта и о. Бол. Ушканий к мысу Орлова п-ова Св. Нос. В Северо-Байкальскую котловину включен также Чивыркуйский залив. Литосборный бассейн этой котловины ограничивается водораздельными линиями обрамляющих ее горных хребтов и водосборных площадей притоков Байкала.

К настоящему времени получены количественные данные о сносе в котловину продуктов выветривания горных пород всеми основными экзогенными процессами, что позволило перейти к количественно обоснованной оценке нисходящего литопотока в этом сложно устроенном, высокодинамичном литосборном бассейне. В целом в расчете сноса суммировано вещество, поступающее непосредственно в озерную котловину и отлагающееся в отделенных от озера косами и барами прибрежных сорах, на выдвигающихся в Байкал дельтах, конусах выноса, мысах, вдольбереговых валах, пляжах и др. Все эти прибрежные образования находятся в пределах Северо-Байкальской котловины, выполненной

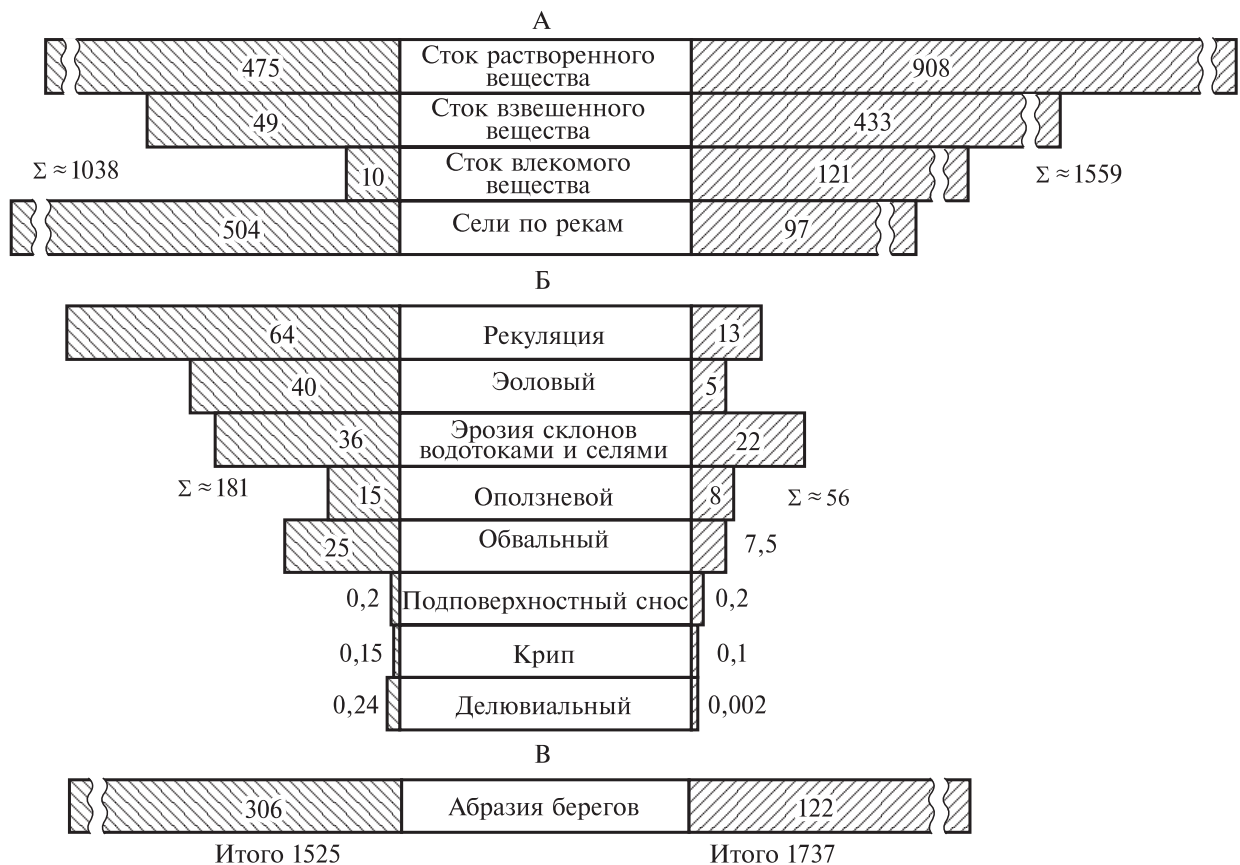
водным телом озера и рыхлой оболочкой. Перечисленные аккумулятивные формы при разрастании вытесняют и замещают водные массы озера. Многие из них недолговечны — они то возникают, то размываются во время штормов.

Площадь литосборного бассейна, необходимая для расчета денудации, определена методом взвешивания на электронных аналитических весах ее очертания, вырезанного из кальки по карте м-ба 1:1 000 000 и сопоставленного с площадным эталоном со сторонами 20 × 20 см. Полученный таким путем размер площади увеличен на 10 % с целью приближения к характерному для Прибайкалья горному рельефу, изрезанному многочисленными карами со скалистыми стенками, остроконечными гребнями и глубокими крутосклонными долинами.

АСИММЕТРИЧНОСТЬ ЛИТОПОТОКА

Как показали расчеты, литопоток в Северо-Байкальскую котловину асимметричен в незначительной степени. При этом выявлены две противоположные закономерности: склоновые процессы преобладают в сносе продуктов выветривания горных пород с круто обрывающегося к воде северо-западного побережья, а русловые — с противоположной, юго-восточной стороны (см. рисунок). Абразия, не относящаяся к названным группам процессов, интенсивнее на северо-западной стороне впадины. Поставляемый ею осадочный материал в значительной мере уменьшает асимметрию общего литопотока, вызванную сносом вещества по руслам рек.

Склоновые процессы (оползни, обвалы, осыпи, крип, плоскостной смыв и др.), к которым с некоторой долей условности отнесен и ветровой снос, происходящий не только на склонах, но и на горизонтальных поверхностях, поставляют в Северо-Байкальскую котловину с северо-западной стороны в среднем в год около 181 тыс. т осадочного вещества, а с ее противоположного борта в 3,2 раза меньше — 56 тыс. т. Русловые процессы (вынос растворенного, взвешенного, влекомого вещества реками, а также селями по речным долинам), наоборот, с северо-западной стороны дренажной системы поставляют сюда вещества в 1,5 раза меньше, чем с противоположного побережья (см. рисунок).



Литопоток в Северо-Байкальскую котловину, тыс. т/год.

Процессы на северо-западном (слева) и противоположном (справа) побережьях озера: А — русловые, Б — склоновые, В — абразионные.

В сумме бассейново-русловая составляющая литопотока превышает результаты деятельности остальных процессов по выносу материала, как бы ассимилируя их, и в целом с юго-восточной стороны водного бассейна в котловину поступает несколько больше растворенного и твердого вещества (1737 тыс. т/год), чем с северо-западной (1525 тыс. т/год).

Таким образом, в Северо-Байкальскую котловину с юго-восточной и северо-западной сторон поступает сходное количество осадочного материала. Такая слабо выраженная диспропорция сноса при резкой асимметричности водосборного бассейна связана в основном с весьма продуктивным по поставке селевого материала в озеро близко подступающим к урезу воды Байкальским хребтом с тектонически интенсивно раздробленными высокими и крутыми склонами. Как установлено по повреждениям деревьев [6, 7], водокаменные потоки в этом хребте возникают ненамного реже, чем в Хамар-Дабане. И выносят они в озеро, по всей вероятности, близкое по величине количество селевого материала, составляющее с учетом селевого сноса в Малое Море с Приморского хребта в среднем в год не менее 500 тыс. т. А с Баргузинского хребта и п-ова Св. Нос, расположенных на противоположном побережье Байкала, селевые потоки сходят редко и выносят приблизительно в пять раз меньше рыхлого материала (см. рисунок).

Цифры эти, хотя и ориентировочные, основанные на ограниченном фактическом материале, не завышены, если учесть, что сель только из долины Шартлы 9 июля 1959 г. вынес и отложил на подводном склоне около 500 тыс. м³ рыхлого материала, не считая ила и песка, рассеянных во взвешенном состоянии [8]. На участке длиной 18 км между мысами Средний Кедровый и Заворотный в 1969 г. нами обнаружено 11 свежих селевых конусов выноса, уходящих в озеро. Частично селевые отложения срезаны абразионными процессами. По сведениям очевидцев, они снесены с Байкальского хребта в 1967 г. Судя по остаткам конусов выноса, сохранившимся на пляже, эти сели вынесли сотни тысяч кубических метров рыхлого материала. Подобные явления отмечались на реках Молокон (1975 г.), Татарниково Русло (1958, 1975 гг.) и по многим долинам этого побережья [8].

Асимметрия литопотока в Северо-Байкальской котловине была бы более контрастной, если бы интенсивный вынос продуктов выветривания с Байкальского хребта в значительной мере не уравновешивался стоком растворенного, взвешенного и влекомого вещества вторым по крупности притоком Байкала — Верх. Ангарой, впадающей в Байкал с северо-северо-востока. Без этой реки с северо-западной стороны в котловину выносятся в 3,6 раза больше осадочного материала, чем с противоположной (соответственно 1525 и 420 тыс. т). Поскольку такая асимметрия свойственна большей части Северного Байкала, расположенного за пределами влияния выносов рыхлого материала р. Верх. Ангарой, то именно ее следует учитывать при расшифровке особенностей осадконакопления и условий развития биоценозов аквальных зон, прилегающих к этим побережьям.

РЯДЫ ЛИТОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ ПРОЦЕССОВ

Экзогенные процессы на сравниваемых побережьях можно расположить в порядке значимости каждого из них в поставке вещества в Северо-Байкальскую котловину. В этом случае одни и те же позиции в рядах сноса на обоих побережьях займут только сток растворенного вещества по рекам и абразия, находящиеся соответственно на первом и третьем местах (см. рисунок). Остальные процессы в рядах значимости расположатся вразнобой. Причем, если на юго-восточной стороне котловины процессы по количеству выносимого ими вещества займут места во вполне ожидаемом, обычном порядке, т. е. первые пять позиций — это русловые процессы и абразия, а затем — явления склонового ряда, то на противоположном борту подобной, само собой разумеющейся, последовательности не образуется.

На четвертое место в ряду значимости здесь выходит рекулляция, под которой понимается разрушение и отступление уступов, образованных в результате подрезки рыхлого покрова склонов [9]. Такое сравнительно высокое положение этого процесса в ряду их значимости можно объяснить тем, что северо-западный борт котловины, образованный в основном по плоскости сброса, на значительном протяжении в прибрежной части подмывается волнами озера и в рыхлом покрове систематически формируется уступ. Рыхлый покров, неустойчиво залегающий на круто обрывающихся к Байкалу склонах, таким образом лишается опоры, что обуславливает его дальнейшее ускоренное разрушение.

Общая причина интенсивного разрушения уступа на подрезанном склоне — нарушение в одних случаях статического, а в других динамического равновесия грунтов. До подрезки разрыхленный слой уплотнялся, особенно на вогнутых по падению склонах, и приобретал все более устойчивое состояние. После подрезки в образовавшемся уступе обломки горных пород лишаются поддержки, и получает выход накопившееся в разрыхленном слое напряжение. В результате сейсмических толчков, замерзания—протаивания, намокания и высыхания грунта, сотрясений от обвалов, взрывов, приобоя, сходов лавин, селей неизбежны частые микропульсации обломков, что значительно облегчает их смещение к поверхности уступа на склоне, особенно в моменты, когда эти факторы или часть их действуют на грунт одновременно.

Воздействие гравитационной составляющей, направленной по уклону, даже далеко не достаточное для выведения обломков из состояния покоя, при пульсациях, вызывающих ослабление связей между ними, приводит к неизбежному более энергичному их сносу, особенно при мощных сдвигающих инерционных воздействиях виброисточников.

Процесс разуплотнения начинается от уступа, где почвогрунты лишены опоры, и волной распространяется в направлении бровки склона. Процесс этот не затухает со временем, поскольку уступ периодически возобновляется новыми абразионными подрезками. Систематическое выпадение из уступов обломков горных пород, высыпки и выпльвы порций мелкозема, хотя и многочисленны, но рассредоточены в пространстве, мало приметны, поэтому процесс рекулации ранее не учитывался в выносе вещества в оз. Байкал.

На том же северо-западном побережье другие процессы в рядах значимости по поставке вещества в котловину распределены также необычно. Сравнительно малое значение в сносе имеет сток по рекам взвешенного и влекомого вещества — соответственно пятое и десятое места. Второй из этих процессов превосходят такие из них, как эоловый, эрозия склонов временными водотоками, перерастающими иногда в селевые потоки, а также оползни и обвально-осыпной снос, занимающие в ряду сноса соответственно с шестой по девятую позиции (см. рисунок).

Невысокие показатели флювиального выноса твердого вещества отчасти можно объяснить слабой изученностью побережья и, следовательно, заниженностью данных по этому виду сноса, но есть и объективные причины — относительно малое количество и маловодность северо-западных притоков в северной части Байкала. На топографической карте м-ба 1:100 000 здесь насчитывается 62 постоянных водотока, из них только у 12 рек длина превышает 10 км. С противоположной же стороны котловины в озеро впадает 84 постоянных притока, из которых длина 23 рек от 11 до 670 (Верх. Ангара) км.

Значительное поступление в котловину эолового вещества с территории северо-западного побережья связано в основном с его частичной остепненностью, особенно в районах прол. Малое Море, между мысами Рытый и Шартла, Курла и пос. Нижнеангарск, а также разреженным травостоем, резко выраженным в засушливые годы под воздействием сухих шквальных северо-западных ветров, достигающих ураганной скорости — свыше 40 м/с. Крупнозернистая часть рыхлого материала (песок, дресва, мелкая галька) интенсивно перемещается этими ветрами в Байкал путем сальтации и влечения. Многолетними измерениями [2] установлено, что таким путем ветром переносится до 478 г минерального вещества в год через метровый отрезок земной поверхности. С учетом измерений поступления продуктов эолового сноса в Байкал [5] и сведений об их площадном распределении [10] нами ориентировочно определено, что со стороны северо-западного побережья на акваторию северной части Байкала приносится и оседает в среднем в год около 40 тыс. т эолового твердого вещества.

Обвально-осыпной снос с северо-западного, круто обрывающегося к озеру побережья Северо-Байкальской котловины в ряду количества выносимого материала находится на восьмом месте и закономерно в 1,7 раза превосходит здесь оползневой снос, занимающий в этом ряду девятую позицию (см. рисунок). На противоположной, юго-восточной стороне, где скальных обрывов к Байкалу значительно меньше, оползни сносят больше рыхлого материала, чем обвалы.

Таким образом, при наличии одних и тех же процессов сноса сравниваемые побережья не только контрастно асимметричны по крутизне поверхности, но и резко различны по рядам значимости экзогенных процессов в формировании нисходящего литопотока. Это, безусловно, не может не отражаться на функционировании прибрежных биоценозов, а также биотопов примыкающих к этим побережьям мелководных зон и, следовательно, должно учитываться при разработке соответствующих биоценологических и природоохранных проблем Байкала.

АСИММЕТРИЯ В ДЕНУДАЦИИ

Сравниваемые части литосборного бассейна контрастно различаются по интенсивности денудационного снижения земной поверхности. Как отмечалось, в Северо-Байкальскую котловину с окружающей территории общей площадью около 45 тыс. км² сносится в среднем за год приблизительно 3,26 млн т, или 1,81 млн м³ продуктов физического и химического выветривания горных пород. Рассчитанная на основе этих данных величина денудации для всего водосборного бассейна котловины составляет 0,04 мм/год. С северо-западной стороны дренажного бассейна площадью 12 тыс. км² в котловину поступает 1525 тыс. т, или 847 тыс. м³ наносов. Следовательно, денудационное срезание земной поверхности достигает здесь 0,07 мм/год. С юго-восточной стороны водосборного бассейна площадью 33 тыс. км² осадочного вещества в котловину выносятся около 1737 тыс. т, или 965 тыс. м³, и денудация составляет 0,03 мм/год.

Таким образом, с северо-западного и юго-восточного побережий в Северо-Байкальскую котловину поставляется сходное количество продуктов выветривания, но денудация на первом из них в

2,3 раза интенсивнее. Проявляется закономерность: с уменьшением площади литосборного бассейна увеличивается денудация его поверхности. Объясняется это тем, что литопоток, вбирая по пути новые порции вещества, начинает одновременно все интенсивнее откладывать продукты выветривания горных пород и формировать разнообразные аккумулятивные формы рельефа.

Устанавливается своеобразное подвижное балансовое соотношение между приходом и расходом вещества в литопотоке. Вследствие этого утрачивается прямо пропорциональная зависимость между количеством сносимых в конечный резервуар (в нашем случае — в котловину Байкала) продуктов выветривания горных пород и площадью литосборного бассейна, точнее — длиной пути транспортировки вещества. Поэтому при прочих равных условиях средняя величина денудации в обширных литосборных бассейнах ниже, чем в гораздо меньших их аналогах.

Дополнительно высокая скорость денудации на северо-западном побережье северной части Байкала связана с морфологической контрастностью его рельефа, крутизной склонов, а также большей подготовленностью горных пород к интенсивному сносу. Этому способствуют многочисленные здесь плоскости сбросов в узкой тектонически активной зоне глубинного разлома, служащей одновременно и крутообрывающимся в озеро бортом рифтовой впадины, постоянно разрушаемым и обновляемым гравитационными процессами. Процессы эти выполаживают склон, и, соответственно, со временем снижается интенсивность денудации. При этом уменьшается асимметрия литопотока, вызываемая склоновыми процессами.

Вместе с тем, по мере активизации деструкции северо-западного борта впадины, его выполаживания, а следовательно, увеличения длины и площади склонов здесь появляется все больше условий для зарождения новых водотоков и соответствующего возрастания руслового сноса взвешенного, влекомого и растворенного вещества. Это снижает степень асимметрии части литопотока, вызванной русловыми процессами — селями по долинам рек, стоком растворенного, взвешенного и влекомого вещества.

Таким образом, проявляется неуравновешенность геосистемы, а также то, что ее денудационное развитие постепенно приближается к симметричному поступлению продуктов выветривания горных пород с противоположных побережий котловины озера. Асимметрия в денудации «выправляет» асимметрию морфологическую и, в конечном счете, благоприятствует формированию симметричного или близкого к нему литопотока в литосборном бассейне рассматриваемой котловины.

Такое состояние литодинамической системы наступило бы, вероятно, на конечной стадии существования Байкала, в период его почти полного засыпания продуктами выветривания горных пород и почти предельной планации гор в его окрестностях. Очевидно, все это возможно лишь после значительного ослабления в Байкальском рифте эндогенных процессов и преобладания в регионе экзогенного формирования рельефа. В настоящий период в создании облика рельефа явно преобладают эндогенные процессы, а Байкал не только не заполняется осадочным материалом, но и увеличивает в размерах [11].

Проведенное исследование позволило создать количественную модель литопотока в Северо-Байкальскую котловину с охватом всех его составляющих и с акцентом на всестороннее отображение в его структуре асимметрии впадины. Из-за объективно неизбежных неточностей измерения процессов сноса имеющимися, далеко не совершенными методами к приведенному цифровому материалу следует относиться как к недостаточно точному, но чрезвычайно полезному, поскольку на его основе создана первая пробная и наглядная модель существующего литопотока, уточняемая в дальнейшем, по мере получения новых и более обширных фактических материалов. На современном уровне знаний предложенная модель представляет несомненную ценность для понимания общей структуры нисходящего литопотока и может привести к интересным заключениям при изучении функционирования звеньев экосистемы Байкала, непосредственно зависящих в своем развитии от интенсивности сноса вещества с различных участков побережий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (05–05–64103).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колокольцева Э. М. Морфологические характеристики озера Байкал // Мезозойские и кайнозойские озера Сибири. — М.: Наука, 1968.
2. Агафонов Б. П. Экзолитодинамика Байкальской рифтовой зоны. — Новосибирск: Наука, 1990.
3. Власова Л. К. Речные наносы бассейна озера Байкал. — Новосибирск: Наука, 1983.
4. Вотинцев К. К., Глазунов И. В., Толмачева А. П. Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. — М.: Наука, 1965.
5. Ходжер Т. В., Потемкин В. Л. О процессе самоочищения атмосферы на Байкале // Всесоюзный симпозиум по фотохимическим процессам земной атмосферы: Тезисы докл. — Черногоровка, 1986.

6. Лут Б. Ф., Галазий Г. И. Экзогенные процессы и динамика развития северо-западного склона Байкальской впадины // Донные отложения Байкала. — М.: Наука, 1970.
7. Агафонов Б. П., Макаров С. А. Активность и распространенность селевых процессов в Северном Прибайкалье по дендрохронологическим данным // Поздний плейстоцен и голоцен юга Восточной Сибири. — Новосибирск: Наука, 1982.
8. Лут Б. Ф. Природные явления и береговые процессы на оз. Байкал // Круговорот вещества и энергии в водоемах: морфология, литодинамика, седиментация. — Иркутск, 1977.
9. Агафонов Б. П. Процесс отступления свежобразованных уступов на склонах // География и природ. ресурсы. — 1981. — № 4.
10. Панова Г. П., Ходжер Т. В. Прозрачность атмосферы и химический состав осадков на озере Байкал // Моделирование переноса вещества и энергии в природных системах. — Новосибирск: Наука, 1984.
11. Агафонов Б. П. Разрастающийся Байкал // Докл. РАН. — 2002. — Т. 382, № 4.

*Институт земной коры СО РАН,
Иркутск*

*Поступила в редакцию
27 июня 2006 г.*