

И. А. ЛАБУТИНА, М. К. ТАРАСОВ

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия, ilabutina@mail.ru, mixail.tarasov@gmail.com

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТВЕРДОГО СТОКА РЕКИ СЕЛЕНГИ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

Рассмотрена возможность применения космических снимков при изучении распространения взвешенных наносов, поступающих с твердым стоком р. Селенги, по южной части оз. Байкал. Относительная концентрация взвешенных частиц определена по космическим снимкам серии Landsat без использования данных наземных измерений мутности. При дешифрировании мутности воды учитывался эффект разноглубинного проникновения солнечного излучения, позволяющий разделять взвешенные частицы, находящиеся в приповерхностном и в более глубоких слоях. На основе дешифрирования космических снимков и данных о постоянных течениях в озере, рельефе дна, объему стока и преобладающих ветрах накануне съемки построены карты распространения взвеси в озере, позволившие косвенно оценить распределение твердого стока по протокам дельты Селенги в зависимости от времени и фазы водного режима. Выделен ряд факторов, влияющих на маршруты распространения взвешенных наносов: объем выносимого материала, вдольбереговые и глубинные течения, поверхностные течения, вызванные кратковременным ветровым воздействием, рельеф авандельты. Рассмотрено влияние каждого фактора на распространение взвешенных наносов. Анализ карт подтвердил, что основным фактором при спокойных погодных условиях выступают постоянные течения в озере, но при значительном ветровом воздействии в одном направлении распространение взвешенных наносов кардинально меняется. Установлено, что картина распространения наносов стабильна на протяжении как минимум последних сорока лет.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, Landsat, объем стока, постоянные течения, ветровые волнения, рельеф авандельты.

I. A. LABUTINA, M. K. TARASOV

Moscow M. V. Lomonosov State University,
Leninskie gory, 1, Moscow, 119991, Russia, ilabutina@mail.ru, mixail.tarasov@gmail.ru

STUDY OF THE SELENGA RIVER SEDIMENT RUNOFF DISTRIBUTION USING SATELLITE IMAGES

We explore the possibility of using space images in the study of the distribution of suspended sediments transported by the sediment runoff of the Selenga river, in the southern part of Lake Baikal. The relative concentration of suspended particles was identified on Landsat images without using ground-based turbidity measurements. The effect of different depths of solar radiation penetration was used to separate suspended matter in the surface layer and in deeper layers. On the basis of satellite image interpretation and using data on the constant currents in the lake, the bottom topography, runoff and prevailing winds for the day before the images were taken, we constructed the maps of suspended sediment distribution in the lake. The maps were used to indirectly estimate the sediment runoff distribution in the by-channels of the Selenga river delta depending on the time and phase of the water regime. A number of factors influencing the sediment runoff distribution were identified: the volume of transported material, longshore and deep-water currents, surface currents caused by short-lasting wind effects, and bottom topography. The effect of each factor on the sediment runoff distribution was analyzed. Analysis of the maps confirmed that the main factor in calm weather conditions is represented by constant currents in the lake. However, in the case of significant unidirectional wind effects, the sediment runoff distribution changes drastically. It is established that the pattern of sediment runoff distribution has remained unchanged for at least the last forty years.

Keywords: remote sensing, Landsat, runoff volume, constant currents, wind-driven wave, topography of delta-front.

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Байкал — уникальный объект природы мирового значения. Одно из его достояний — особая прозрачность вод, позволяющая существовать в экосистеме Байкала ряду эндемичных организмов. Это определяет актуальность исследования распространения взвешенных частиц по акватории озера.

Твердый сток р. Селенги составляет 70 % от общего выноса взвешенных и влекомых наносов всеми реками, впадающими в Байкал [1], поэтому район ее дельты является ключевой областью для функционирования экосистемы всего озера.

Изучение мутьевых выносов по космическим снимкам опирается на две закономерности. Во-первых, солнечное излучение разных длин волн проникает в водную толщу на различную глубину; как следствие, на снимках в красном участке спектра изображаются приповерхностные слои, а в голубом — до глубины около 20 м в зависимости от прозрачности воды [2]. Во-вторых, яркость изображения напрямую зависит от концентрации взвеси в воде: мутные воды имеют более высокую яркость [3].

Первые публикации результатов изучения распространения взвесей появились уже в конце 1970-х гг. [4, 5]. В настоящее время исследования направлены в основном на решение двух задач: картографирование системы течений [6, 7] и экологический мониторинг водных объектов, в частности, контроль выносов загрязнений [8, 9].

Сравнительно немного работ посвящено проблеме изучения твердого стока р. Селенги, причем большинство из них базируется исключительно на данных полевых исследований и батиметрических картах [10, 11]. Между тем уже давно доказана эффективность определения концентрации взвешенных частиц по космическим снимкам. Одни из первых работ в этой области были проведены в начале 1980-х гг. для акватории оз. Байкал, например, в [12] применена методика разноглубинного картографирования выносимых Селенгой взвешенных наносов по многозональным снимкам в зеленом, красном и ближнем инфракрасном участках спектра. Были рассмотрены маршруты распространения взвешенных частиц и сделаны предположения об определяющих их факторах. Аналогичная методика для картографирования облака взвеси, поступающего в озеро с водами Селенги, описана в [3]. Количественная оценка концентрации взвешенных частиц в акватории всего оз. Байкал по данным спутника SeaWiFS представлена в [13]. Однако масштаб картографирования и легенда к карте (выделено несколько ступеней мутности от 0 до 2 мг/л) не позволяют судить о каких-либо закономерностях в распределении взвешенных наносов Селенги.

Открытый в настоящее время доступ к архиву снимков Landsat предоставил новые возможности для изучения проблемы распространения облака взвеси от р. Селенги, например, выбрать данные хорошего качества на исследуемый период, проанализировать различные ситуации. Сопоставление карт, составленных в конце XX в. (1976 и 1980 гг.), с картами, представленными в данной работе (2001, 2011 и 2014 гг.), позволяет оценить относительную динамику распространения облака взвеси в исследуемом районе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовались снимки TM/Landsat-5, ETM+/Landsat-7 и OLI/Landsat-8 с пространственным разрешением 30 м, полученные из архива Геологической службы США [14]. Для выявления сезонных закономерностей в распределении выносов выбраны снимки с интервалом примерно в два месяца: 26 июня, 13 августа и 16 октября 2001 г. Кроме того, сравнивались снимки от 17 августа 2011 г. и 17 июля 2014 г. Обработка снимков и создание карт выполнялись в программном пакете ArcGIS 10.

Методика картографирования взмученных вод заключается в установлении границ распространения вод с разным содержанием взвеси, т. е. в выделении определенных интервалов оптических плотностей на зональных снимках и последующем их сопоставлении [12]. Для корректного сравнения снимков за разные даты процедура квантования просто необходима, поскольку они сделаны в различных условиях (состояние атмосферы, угол наклона Солнца и т. п.), и прямое сопоставление яркостей непременно даст ложную картину.

Основная идея метода состоит в распознавании наиболее активных и пассивных протоков Селенги, которые выносят максимум или минимум взвеси соответственно, и в дальнейшем определении направления перемещения взвеси.

На первой стадии создана векторная маска суши по снимку в ближней инфракрасной зоне, чтобы в дальнейшем работать только с яркостными характеристиками водного объекта. За 14 лет (с 2001 по 2014 г.) внешний край дельты изменился незначительно, что позволило использовать единую маску суши для всех снимков.

Далее было выполнено квантование яркостей изображения на снимках в красной зоне. Весь диапазон оптических яркостей, в который попадает изображение облака взвеси, разделен на четыре равные части: с малой, средней, высокой и очень высокой концентрацией взвеси. После квантования снимка в красной зоне к изображению применялся фильтр шума с целью сгладить границы и ис-

ключить незначительные локальные максимумы или минимумы. Векторная карта создавалась путем визуальной векторизации с экрана. Такой способ позволяет, с одной стороны, сразу генерализировать незначительные контуры, а с другой — отмечать необходимые закономерности и тенденции распространения взвеси разной концентрации.

Основная задача при квантовании изображения в зеленой зоне — выявление направления распространения и площади облака взвеси на глубине. Взвесь на глубине представлена мельчайшими частицами со схожей концентрацией, поэтому на снимке в зеленой зоне выделено всего три ступени: условно высокая концентрация взвеси, условно низкая и чистая вода. После квантования полученная ранее векторная карта приповерхностного слоя взвеси была дополнена глубинным слоем взвеси.

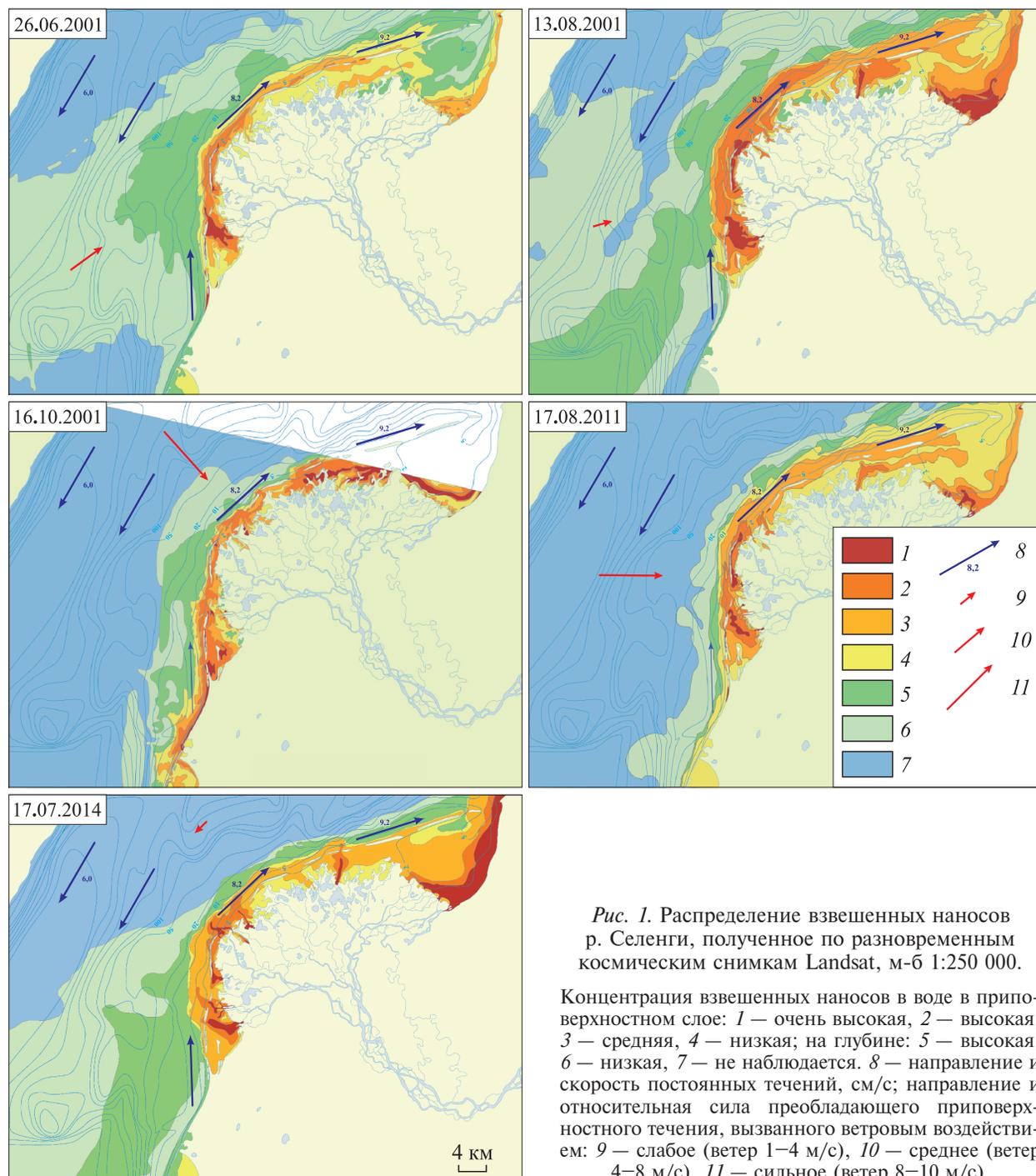


Рис. 1. Распределение взвешенных наносов р. Селенги, полученное по разновременным космическим снимкам Landsat, м-б 1:250 000.

Концентрация взвешенных наносов в воде в приповерхностном слое: 1 — очень высокая, 2 — высокая, 3 — средняя, 4 — низкая; на глубине: 5 — высокая, 6 — низкая, 7 — не наблюдается. 8 — направление и скорость постоянных течений, см/с; направление и относительная сила преобладающего приповерхностного течения, вызванного ветровым воздействием: 9 — слабое (ветер 1–4 м/с), 10 — среднее (ветер 4–8 м/с), 11 — сильное (ветер 8–10 м/с).

Таким образом, для каждого снимка создана векторная карта м-ба 1:200 000 с одинаковыми ступенями концентрации взвеси: очень высокая, высокая, средняя и низкая в приповерхностном слое, высокая и низкая на глубине и чистая вода.

Для анализа взаимосвязи распределения облака взвеси с рельефом подводной части дельты на карты был наложен слой изобат, снятый с топографических карт м-ба 1:100 000 (для области авандельты) и 1:500 000 (для глубоководной части Байкала). Одновременно на карту были добавлены слои с преобладающими постоянными течениями, направлением и силой ветра. Составленные карты (рис. 1) позволили проанализировать распределение стока взвешенных наносов на отдельные даты и провести аналитическое сопоставление разновременных снимков для выявления динамики стока взвешенных наносов в разные сезоны года.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Плотность вод Селенги несколько больше, чем плотность байкальских вод, поэтому взвешенные наносы, выносимые рекой, при попадании в водоем довольно быстро опускаются на глубину. Вначале оседают более тяжелые частицы (диаметром 0,05–0,01 мм), из которых формируется отмель перед дельтой реки (авандельта). На долю крупной взвеси приходится примерно 40 % всего объема. Более мелкие частицы (мельче 0,01 мм) выносятся за бровку авандельты и попадают на глубоководную часть озера, где постепенно оседают. На долю мелких частиц приходится примерно 50 % твердого стока реки [12].

Распространение взвешенных наносов зависит от ряда параметров, из которых основные это объем выносимого материала; вдольбереговые и глубинные течения; поверхностные течения, вызванные кратковременным ветровым воздействием; рельеф авандельты и др.

Объем твердого стока напрямую связан с расходом воды в реке [15]. При этом две его составляющие — взвешенные и влекомые наносы — обычно тоже взаимосвязаны. Таким образом, по концентрации взвешенных частиц в устьях протоков и по дальности распространения облака взвеси можно косвенно судить о распределении твердого стока между протоками Селенги.

Дельту реки часто делят на три части: Селенгинский растущий, Лобановский растущий и Среднеустьевский стабильный сектора [16]. Границы между ними меняются вместе с перераспределением стока, в частности в связи с изменением уровня в озере (рис. 2).



Рис. 2. Карта основных протоков дельты р. Селенги м-ба 1:200 000, составленная на основе дешифрирования снимка Landsat 2014 г.

Сектора дельты [16]: I — Селенгинский, II — Среднеустьевский, III — Лобановский.

Снимки 26 июля и 13 августа 2001 г. запечатлели ситуацию летнего паводка на реке Селенге. В первых числах октября 2001 г. дневные температуры упали ниже нуля и началась зимняя межень. Снимок 17 августа 2011 г. фиксирует состояние летней межени на реке, а 17 июля 2014 г. — спад паводка.

В летний сезон наибольшая концентрация взвешенного материала наблюдается в протоках Селенгинского сектора, среди которых выделяются Селенгинская, Шумиха, Игнашиха, Быстриха. Это обусловлено двумя причинами: во-первых, объемом стока проток этого сектора, а во-вторых, барьерной ролью баров, задерживающих большую часть выносимой взвеси в мелководном заливе Сор Черкалово. Несколько ниже концентрация взвеси в устьях проток Лобановского сектора — Лобановской и Новый Перемой. Как правило, протоки Среднеустьевского сектора, за исключением Северной, выносят значительно меньше материала.

Иная картина наблюдается в октябре: относительно более высокая концентрация взвеси зафиксирована в устьях Среднеустьевского сектора. По-видимому, это объясняется не выносом взвеси, а взмучиванием на мелководье в результате затопления части дельты при подъеме уровня Байкала.

Постоянные течения. На Байкале постоянные течения в приповерхностном слое имеют направление циркуляции против часовой стрелки [17]. Вдоль западного побережья наблюдается широкое южное течение со скоростью около 6 см/с, а вдоль восточного — северное. Его скорость составляет 8–9 см/с, а ширина вдоль обширной дельты Селенги существенно меньше южного [18].

Влияние постоянных течений на характер мутьевого облака маскируется ветровыми течениями. Однако при сопоставлении карт (см. рис. 1) нетрудно увидеть, что в большинстве случаев в приповерхностных слоях преобладает перемещение взвеси вдоль края дельты с юго-запада на северо-восток, т. е. в соответствии с постоянным северным течением в озере. В районе мыса Облом вдольбереговое течение, огибающее дельту, формирует в заливе Провал практически постоянное перемещение водной массы против часовой стрелки, о чем свидетельствует распространение мутьевых выносов от устьев проток Лобановской и Новый Перемой вдоль западного берега залива. Взвесь на глубине распределяется в обратном направлении на юго-запад, согласно южному течению.

Ситуация, когда распространение взвеси определяется только постоянными течениями, зафиксирована 13 августа 2001 г. и 17 июля 2014 г. Судя по метеорологическим данным [19], в эти периоды ветровое течение практически отсутствовало. В первом случае на протяжении трех дней ветер менялся с западного–юго-западного на юго-восточный при силе 0–2 м/с, во втором — северные и восточные ветры силой 1–4 м/с периодически сменялись западными и южными, т. е. отсутствовало продолжительное воздействие ветра одного направления.

Ветровые течения. О направлении и силе течения косвенно можно судить по направлению, силе и продолжительности ветра. На Байкале при сильном ветре волнение на поверхности может сформироваться в течение нескольких часов и проявляется оно до глубины 15–20 м [17]. Волны, вызванные продолжительными ветрами (култук, верховик, баргузин), после прекращения ветра затухают в течение полусуток, а вызванные местными ветрами — через 2–3 ч. В течение года наблюдаются два максимума волнения: первый в мае–июне, второй — в осенний период [20].

Для выявления наличия и силы приповерхностного течения был проведен анализ данных о направлении и силе ветра в районе дельты за трое суток, за одни сутки и в день съемки (ночью, утром и днем) на нескольких станциях, равномерно расположенных в южной части озера: Кабанск, Листвянка, Хужир, Байкальск [19].

Влияние слабого ветрового течения на характер мутьевого облака иллюстрирует ситуация 26 июня 2001 г. В период 24–26 июня преобладали ветры с запада и юго-запада со скоростью 2–4 м/с. Это привело к формированию небольшого волнения и приповерхностного северо-восточного течения. Поскольку ветровое течение совпадает по направлению с северным постоянным течением, то на распространение взвеси в приповерхностном слое оно практически не оказывает действия. Иная картина наблюдается на глубине, где мутьевое облако при движении согласно постоянному южному течению встречает северо-восточное встречное ветровое течение. Это приводит к тому, что концентрация взвеси резко уменьшается.

В двух других случаях (16 октября 2001 г. и 17 августа 2011 г.) особенности мутьевого облака обусловлены большей силой ветра. По состоянию на первую дату преобладали ветры с северо-запада со скоростью 6–10 м/с, на вторую — западные ветры силой 6–8 м/с. Облако приповерхностной взвеси «прижато» к дельте и распространяется в обе стороны от нее на северо-восток и на юго-запад. При этом направление распределения взвеси на глубине напрямую зависит от направления ветра. На снимке 16 октября северо-западный ветер заставляет облако взвеси двигаться вдоль берега на юго-

восток, навстречу вдольбереговому течению, что приводит к образованию завихрений мутьевых потоков, отчетливо видных на картах. На снимке 17 августа западный ветер, наоборот, движет облако взвеси вдоль берега на северо-восток.

Рельеф авандельты. Бары Селенгинского и Среднеустьевского секторов дельты находятся на границе двухметровых глубин, что можно оценить как границу активного накопления вещества на мелководье. В связи с формированием залива Провал положение этой границы в Лобановском секторе иное. Изобата двухметровой глубины здесь проходит дальше баров на севере, а на южной стороне баров окаймляет их. Как можно заметить на картах, отражающих типичное распространение взвешенных частиц (13 августа 2001 г. и 17 июля 2014 г.), наибольшая концентрация взвеси в приповерхностном слое находится в пределах двухметровой мелководной зоны. При выходе взвешенных частиц за границу баров они начинают резко оседать до глубин 5–10 м. Фактически взвеси в приповерхностном слое в Селенгинском и Среднеустьевском секторах не распространяются дальше десятиметровой изобаты, а в Лобановском — пятиметровой. При анализе взвеси на глубине можно заметить, что относительно высокое ее содержание наблюдается вдоль более пологого склона юго-восточного побережья Байкала.

Октябрьский снимок примечателен концентрацией взвеси в Северном секторе дельты, хотя выносы ее протоками этого сектора минимальны. Предположительно, встречное северо-западное течение вызвало подпор стока северных проток, что, в свою очередь, привело к взмучиванию вод на мелководье.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика разноглубинного дешифрирования космических изображений показала свою эффективность при изучении маршрутов распространения взвешенных наносов р. Селенги. Основное достоинство метода — оперативность получения результата при отсутствии какой-либо исходной информации об объекте.

Составленные по космическим снимкам карты наглядно демонстрируют распространение облака взвеси в акватории озера при различных гидрологических и метеорологических условиях. Путем дешифрирования разновременных космических снимков косвенно подтверждено, что взвешенные наносы распределяются по протокам Селенги неравномерно. Протоки, выносящие больше взвешенных частиц, расположены в Селенгинском и Лобановском секторах дельты, в Среднеустьевском наиболее активна Северная.

Распределение взвешенных наносов по протокам р. Селенги в летний сезон постоянно. Наиболее активны одни и те же протоки с июня по октябрь, хотя характер распределения облака взвеси по акватории может сильно варьировать.

На распространение облака взвеси влияет ряд факторов, основные из которых — энергия потока, выносящего твердые частицы, постоянные течения, временные ветровые течения и рельеф авандельты. При спокойных погодных условиях движение взвешенных частиц подчиняется постоянным течениям, которые сформировались в озере. Взвешенные частицы в приповерхностном слое перемещаются на северо-восток, в то время как взвеси, уже опустившиеся на глубину, подхватываются противоположным юго-западным течением.

Критическое влияние на распространение взвешенных наносов оказывают временные течения, вызванные сильными ветрами: они могут кардинально менять картину распределения взвеси на разных глубинах. По картам хорошо видно, как при слабом воздействии ветра затрагиваются в основном приповерхностные слои, в то время как сильные ветры вызывают волнения, влияющие и на более глубокие толщи воды.

Распространение взвешенных частиц взаимосвязано с рельефом подводной части дельты. Максимальная их концентрация фиксируется на глубине до 2–5 м, при отсутствии выраженного ветрового течения — до 10 м. Плотность взвеси на глубине в меньшей степени зависит от рельефа, так как авандельты имеют обрывистые подводные склоны, но при отсутствии выраженного ветрового течения взвеси на глубине распространяются вдоль донного поднятия, тянувшегося от дельты на юго-запад.

Результаты маршрутов распространения взвешенных наносов р. Селенги для 2001 и 2014 гг. полностью совпадают с данными, полученными в 1976 и 1982 гг. В ранее проведенных исследованиях [3, 12] отмечается типичное распределение взвешенных частиц при стабильных погодных условиях. Идентичная картина наблюдается при аналогичных погодных условиях и в 2001 (13 августа) и 2014 гг., следовательно, характер распространения взвешенных наносов р. Селенги сохраняется как минимум на протяжении последних сорока лет.

Полученная информация может быть полезна при исследовании литодинамики водоема, седиментологии и морской геологии, а также для изучения загрязнения водоема, так как твердые частицы абсорбируют загрязняющие вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дельта** реки Селенги — естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал / Ред. А. К. Тулоханов, А. М. Плюснин. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — 314 с.
2. **Curran P. J.** The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance // *Journ. of Coastal Research*. — 1988. — Vol. 4, N 3. — P. 351–368.
3. **Дешифрирование** многозональных аэрокосмических снимков. Методика и результаты / Отв. ред. Р. З. Сагдеев, К. А. Салишев, Х. Кауцлебен. — М.: Наука; Берлин: Академи-Ферлаг, 1982. — 83 с.
4. **Carlson P.** Mapping surface current flow in turbid near-shore waters of the northeast Pacific // *Geological Survey Profess. Paper*. — 1976. — N 929. — P. 328–329.
5. **Лабутина И. А., Сафьянов Г. А., Шарлай Т. Г.** Исследование распространения взвесей в море по многозональным снимкам // *Докл. АН СССР*. — 1976. — Т. 230, № 2. — С. 536–538.
6. **Ломакин П. Д., Боровская Р. В.** Возможность контроля системы течений в Керченском проливе на базе спутниковой информации // *Системы контроля окружающей среды*. — Севастополь: ЭКОСИ-гидрофизика, 2005. — С. 255–257.
7. **Гришин Н. Н., Костяной А. Г.** Использование спутникового мониторинга распространения взвешенных наносов для трансграничной оценки воздействия на окружающую среду строительства российской секции морского газопровода Nord Stream // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. — 2013. — Т. 10, № 1. — С. 303–319.
8. **Кровотынцев В. А., Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Островский А. Г.** Космический мониторинг состояния природной среды Азово-Черноморского бассейна // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса* — 2007. — Т. 1, № 4. — С. 295–303.
9. **Курбатова И. Е.** Космический мониторинг негативных ситуаций в прибрежных зонах крупных водоемов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. — 2012. — Т. 9, № 2. — С. 52–59.
10. **Чебыкин Е. П., Гольдберг Е. Л., Куликова Н. С.** Элементный состав взвешенного вещества поверхностных вод озера Байкал в зоне влияния реки Селенга // *Геология и геофизика*. — 2010. — Т. 51, № 10. — С. 1443–1451.
11. **Romashkin P. A., Williams D. F.** Sedimentation history of the Selenga Delta, Lake Baikal: simulation and interpretation // *Journ. of Paleolimnology*. — 1997. — Vol. 18, N 2. — P. 181–188.
12. **Лабутина И. А., Сафьянов Г. А.** Исследования распространения твердого стока рек по аэрокосмическим снимкам на примере Кодора и Селенги // *Космическая съемка и тематическое картографирование*. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. — С. 118–125.
13. **Heim B., Oberhaensli H., Fietz S., Kaufmann H.** Variation in Lake Baikal's phytoplankton distribution and fluvial input assessed by SeaWiFS satellite data // *Global and Planetary Change*. — 2005. — N 46. — P. 9–27.
14. **Архив** Геологической службы США [Электронный ресурс]. — <http://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения 20.02.2017).
15. **Алексеевский Н. И.** Формирование и движение речных наносов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. — 202 с.
16. **Корытный Л. М., Ильичёва Е. А., Павлов М. В., Амосова И. Ю.** Гидролого-морфологический подход к районированию дельты реки Селенги // *География и природ. ресурсы*. — 2012. — № 3. — С. 47–54.
17. **Проблемы Байкала** / Отв. ред. Г. И. Галазий, К. К. Вотинцев. — Новосибирск: Наука, 1978. — 295 с.
18. **Атлас «Байкал»** / Ред. Г. И. Галазий. — М.: Федер. служба геодезии и картографии России. — 1993. — 73 с.
19. **Сервер «Погода России»** — Архив погоды [Электронный ресурс]. — http://meteo.infospace.ru/koi/wcarch/html/g_index.sht (дата обращения 20.02.2017).
20. **Атлас волнения и ветра озера Байкал** / Под ред. Г. В. Ржеплинского, А. И. Соркиной. — Л.: Гидрометеоиздат, 1977. — 112 с.

Поступила в редакцию 29 марта 2017 г.