

КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ЭОЛОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА

©2017 Б.З. Цыдыпов¹, Ж.Б. Алымбаева¹, Б.В. Содномов¹, М.А. Жарникова¹, Д.О. Саяпина¹,
Э.А. Батоцыренов¹, А.А. Аюржанаев¹, Б.О. Гуржапов¹, В.В. Тогмидон², Е.Ж. Гармаев¹

¹Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Россия

²ФГБОУ ВО «Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова», Улан-Удэ, Россия

bz61@mail.ru

Аннотация. Холодный сухой климат, сильные ветры, разреженный растительный покров степей, преобладание почв легкого гранулометрического состава и антропогенное воздействие в совокупности способствуют резкой активизации эоловой деятельности в Убур-Дзокойской котловине Селенгинского среднегорья. Сопоставление разновременных отклассифицированных изображений Landsat TM, дополненное данными полевых ландшафтных и геоботанических исследований, наглядно указывает на явные изменения растительного покрова, свидетельствующие об уменьшении площади лесов, постепенной замене их разнотравно-осоковыми степными сообществами с отдельно стоящими деревьями, а также увеличении песчаных отложений на неиспользуемых пашнях и залежах. Созданы балансовые модели динамики песчаных образований. Вычитанием поверхностей-слоев рассчитаны объемы, ограниченные поверхностями, а также площади проекций этих поверхностей на горизонтальную плоскость.

Ключевые слова: эоловый ландшафт, подвижные пески, динамика, Landsat, цифровая модель рельефа, картографирование, тахеометр, беспилотный летательный аппарат

COMPREHENSIVE STUDY OF AEOLIAN RELIEF FORM DYNAMICS

©2017 Tsydyпов B.¹, Alymbaeva Zh.¹, Sodnomov B.¹, Zharnikova M.¹, Sayapina D.¹,
Batotsyrenov E.¹, Ayurzhanaev A.¹, Gurzhapov B.¹, Togmidon V.², Garmaev E.¹

¹Baikal Institute of Nature Management, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences
(BINM SB RAS), Ulan-Ude, Russia

²The Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov, Ulan-Ude, Russia

bz61@mail.ru

Abstract. Cold and dry climate, strong winds, rare vegetation of the steppes, lightweight granulometric composition of soils, anthropogenic influence are leading to an activation of aeolian activity in Ubur-Dzokoyskaya hollow of Selenginsky midlands. Comparison of multi-temporal images of Landsat TM supplemented by field data of landscape and geo-botanical research clearly indicates a distinct change of vegetation. An obvious vegetation change can be traced on these maps indicating a decrease of forest area, the gradual replacement of sedge-forb steppe communities with free-standing trees, as well as an increase of sand deposits on unused arable and fallow lands. Balance models of the dynamics of sand formations have been created. Volumes and areas of the dune have been calculated.

Keywords: aeolian landscape, shifting sands, dynamics, Landsat, digital elevation model, mapping, tachometer, unmanned aerial vehicle

Введение. В южных районах Бурятии распространены значительные массивы развеиваемых песков с активным проявлением эоловых процессов, играющие важную роль в современном рельефообразовании. Они расположены в межгорных котловинах и обращенных к ним наветренных склонах хребтов Селенгинского среднегорья (Малханский, Заганский, Цаган-Дабан, Боргойский и др.) [1, 2]. Развитие подвижных песков различных песчано-аккумулятивных образований обусловлено, в первую очередь, влиянием ветра, которое приводит к денудации земной поверхности [2, 3]. В

Селенгинском среднегорье в 70–80-х гг. прошлого столетия величины дефляции и эоловой аккумуляции, полученные стационарным методом в урочище Убур-Дзокой, достигали первых десятков сантиметров в год [4].

Ветровая эрозия обусловлена, главным образом, аридностью климата, совпадением пика ветрового режима с наиболее засушливым периодом (апрель–май–июнь) и преобладанием почв легкого механического состава [5]. В междуречье Селенги и Чикоя значительная площадь открытых участков пашни на каштановых почвах резко снизила свое плодородие

или превратилась в залежь из-за ветрового сноса гумусового слоя [6]. По данным ближайшей метеостанции Новоселенгинск (27 км по прямой от Убур-Дзокойской котловины) преобладают ветры северных направлений. Весной, при разрушении зимнего антициклона и перестройке барического поля, отмечается наибольший пик ветровой активности и фиксируются максимальные среднемесячные скорости ветров 5,3–5,4 м/с. Весенние ветры активно способствуют разрушению почв и образованию эоловых форм. Отложения, испытывающие воздействие ветров, занимают значительные площади. Развеивание песков особенно мощно проявляется там, где уничтожена лесная и степная растительность. Появление этих очагов развеивания объясняется тем, что многие колхозы вели распашку целинных земель без учета почвенно-климатических условий [7]. Д.Б. Базаров отмечал: «Возникновение обширных площадей развеиваемых песков отмечено на месте новых пашен в Убур-Дзое» [8]. Распашка закрепленных песчаных отложений привела к резкой активизации дефляции, в результате дефлируемые пашни были переведены в разряд залежей, и они выпали из интенсивного хозяйственного оборота вплоть до полного их списания [5].

В настоящее время основным методом оценки динамики эоловых форм рельефа все еще остается линейный, т.е. измерение мерной лентой границ до предварительно установленных реперов. В целях повышения точности измерения морфометрических показателей используются топографо-геодезические методы. Большое распространение получили и методы высокоточного спутникового позиционирования. Целью данной работы является разработка и апробирование комплексных методов исследования динамики эоловых форм рельефа с помощью современных средств и методов геодезии, аэро- и космосъемки.

В летне-осенние периоды 2014–2016 гг. проведены полевые экспедиции в ур. Дэбэн Убур-Дзокойской котловины Селенгинского среднегорья. Для создания балансовых моделей динамики песчаных образований созданы разновременные высокоточные стереоскопические цифровые модели рельефа (ЦМР) одиночных барханов с помощью съемочной аппа-

ратуры, установленной на борту беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

При создании ландшафтных карт были использованы последние достижения в среде пространственного геомоделирования. Анализ данных дистанционного зондирования Земли является одним из эффективных способов оценки изменений в ландшафтах. С помощью разновременных аэрофото- и космоснимков можно исследовать широкий спектр проявлений динамики природных условий. На ландшафтном уровне организации растительного покрова наиболее очевидные изменения связаны со сменами сообществ. По сериям разновременных снимков можно легко проанализировать динамику границ между типами растительности, кардинально различающимися по структурным особенностям фитоценозов, например, по жизненным формам доминирующих растений или общей сомкнутости сообщества [9].

Материалы и методы

1. *Территория исследования.* Убур-Дзокойская котловина находится на юге Селенгинского среднегорья в пределах Селенгинского административного района Республики Бурятия и расположена между 106°26' и 107°31' в.д., 51°45' и 50°49' с.ш., в правобережной части бассейна р. Селенги (междуречье рр. Селенга и Чикой) (рис. 1).

По физико-географическому районированию исследуемая территория относится к Селенгинской среднегорной провинции Забайкальской среднегорно-плоскогорной области и области забайкальских котловин, представляя собой Убур-Дзокойский мелкосопочный сухостепной ландшафт [10]. Площадь территории исследования – 248,73 км², протяженность по периметру составляет 72,20 км. Геосистемы котловины включают в себя степные и лесостепные сообщества. Степи располагаются по днищам межгорных понижений, предгорным шлейфам, южным склонам сопот и невысоких гор. Массивы степей разобщены таежными территориями. Лесостепь также не составляет сплошной зоны, а встречается отдельными, часто мелкими массивами, приуроченными к подгорным территориям внутри степных котловин или северным склонам сопот и низких хребтов.

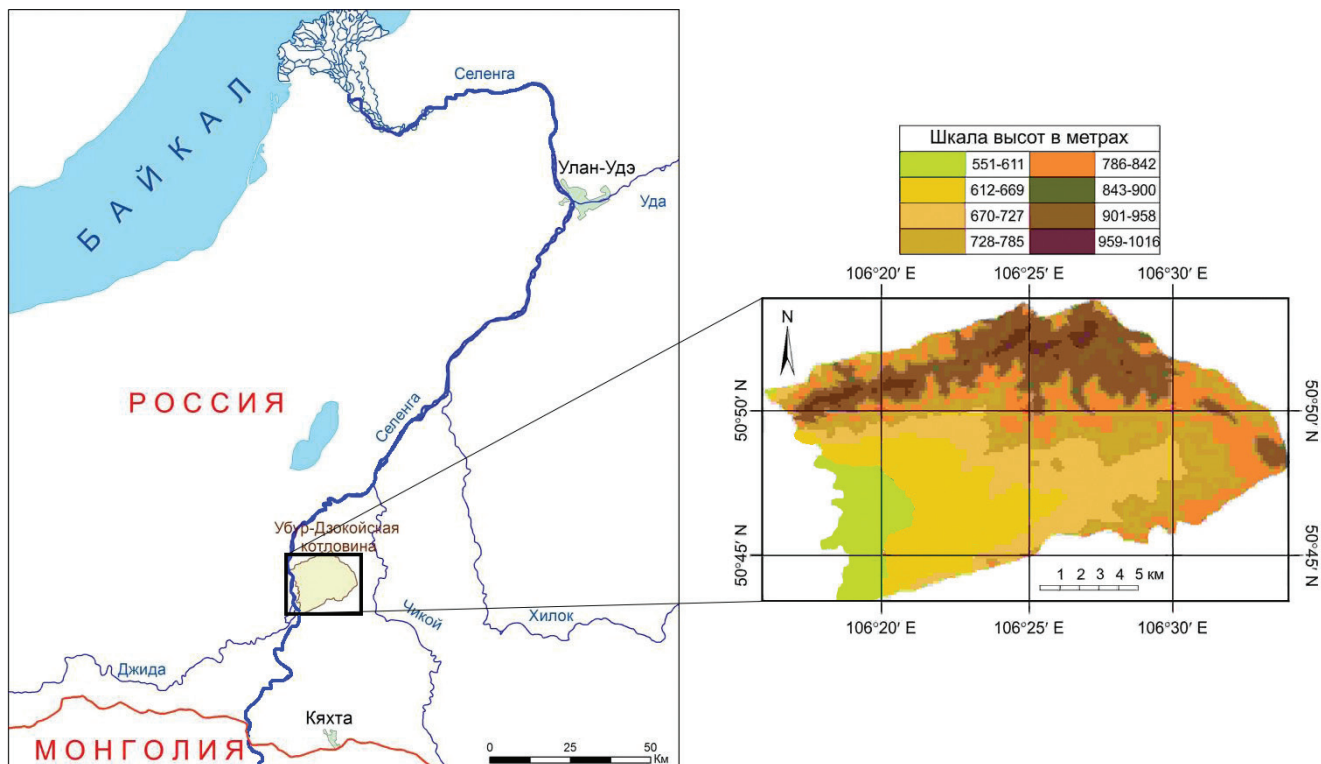


Рис. 1. Территория исследования

2. *Мультиспектральные данные Landsat.* Регулярная космическая съемка представляет собой объективный, оперативно получаемый материал о состоянии земной поверхности и ее изменениях, а современные геоинформационные технологии обработки космических снимков обеспечивают точное по координатное совмещение разновременных материалов для изучения и картографирования динамики природных сред.

Оценка пространственно-временной динамики ландшафтов Убур-Дэжкэйской котловины проведена за период 1990–2010 гг. Для этого использованы разновременные мультиспектральные снимки спектрорадиометра ТМ спутника Landsat 5. Из бесплатного открытого архива Геологической службы США, используя сервис GloVis (<http://glovis.usgs.gov>), загружены безоблачные снимки (path=132, row=25) на три даты: 17.09.1990, 24.06.2000 и 20.06.2010. Использование доступных данных обуславливает достаточно легкое продолжение временной серии динамики ландшафтов в последующие годы.

При автоматизированной классификации снимков использована псевдоцветная комби-

нация каналов 5:4:3 (средний инфракрасный — ближний инфракрасный — красный), т.к. известно, что оконтуривание и выделение объектов целесообразно определять по снимкам с преднамеренно ложной цветопередачей, а их сущность — по снимкам с натуральной цветопередачей. Комбинация 5:4:3 удобна для изучения растительного покрова, т.к. при таком подборе каналов растительность в хорошем состоянии выглядит ярко-зеленой, а почвы — розовато-лиловыми. Комбинация «Натуральные цвета» (красный–зеленый–синий) из-за сильного рассеяния атмосферой синего цвета для классификации используется мало.

3. *Цифровая модель рельефа SRTM.* При изучении ландшафтной структуры геосистем одна из важнейших задач — анализ ключевых морфометрических показателей рельефа. В последнее время широкое распространение получила глобальная ЦМР SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), которая является основой для крупномасштабного морфометрического картографирования [11]. Каждому двухбайтовому элементу матрицы высот — ячейке геопривязанного растра — соответствует высота в метрах над уровнем моря узла решетки

с шагом в 3 секунды дуги (1/1200 градуса) по долготе и широте, что для Байкальского региона составляет 57×92 м соответственно. С ftp-сервера Геологической службы США загружены высотные данные SRTM v. 4 на территорию исследования. Все морфометрические показатели объекта исследования получены при анализе данной ЦМР в программном обеспечении (ПО) ArcGIS 10.2. Также проведены работы по топографическому моделированию трехмерного изображения. В отличие от двумерной карты, трехмерные модели рельефа, драпированные космоснимками, позволяют отчетливо увидеть и визуальнo оценить формы рельефа, границы геоморфологических единиц и природных объектов.

4. *Беспилотный летательный аппарат.* Для создания стереоскопических ЦМР одиночных барханов использована съемочная аппаратура, смонтированная на борту квадрокоптера Phantom 3 Professional. Данный БПЛА — это радиоуправляемая модель летательного аппарата, оборудованная гироскопической системой, GPS-приемником, автопилотом, цифровой ортонормированной камерой сверхвысокого разрешения Sony Exmor FC300X ($f=3,61$ мм) для съемки в видимом диапазоне спектра. Полеты отслеживаются с помощью ПО наземного контроля на экране смартфона, соединенного по сети Wi-Fi с автопилотом и камерой. Максимальная скорость аппарата — 60 км/ч, продолжительность полета — 23 мин, максимальная высота полета — 500 м. Высота полета БПЛА варьируется в зависимости от желаемого пространственного разрешения снимков [12].

Для фотограмметрической обработки цифровых изображений и создания стереоскопической ЦМР на их основе использовано ПО Agisoft PhotoScan. Созданная в AgiSoft PhotoScan мозаика снимков не имеет швов. Проекция снимков — UTM, координатная система — WGS84. Форматы выходного файла — GeoTIFF и TIFF с world-файлом, это позволяет работать со снимками практически в любой ГИС.

5. *Тахеометр Trimble M3.* Границы и площади смещения передней части подошвы одиночного бархана в ур. Дэбэн за 3 года (2014–2016 гг.) определены тахеометрической

съемкой. Тахеометр Trimble M3 характеризуется точностью измерений ± 2 мм, дальность съемки варьируется от 1,5 до 270 м в безотражательном режиме и от 1,5 до 3000 м с одной призмой.

Результаты

1. *Автоматизированная классификация космоснимков.* С целью проведения морфометрического анализа рельефа Убур-Дзокойской котловины построены и проанализированы (в совокупности с данными натурных наблюдений) картосхемы высот (см. рис. 1), уклонов и экспозиции склонов, а также трехмерные изображения на основе ЦМР SRTM v. 4.

Проведена автоматизированная классификация псевдоцветных изображений в ПО MultiSpec 3.4. Для выделения типов ландшафтов использовалась контролируемая (иначе — с обучением) классификация способом «Расстояние Махаланобиса». Данный метод использует статистику для каждого класса. Он подобен классификации способом максимального правдоподобия, но более быстрый и предполагает, что ковариации всех классов равны. Все пикселы отклассифицированы к самому близкому классу, выбранному областью интереса. Если определить порог расстояния, то некоторые пикселы могут остаться неклассифицированными, если они выходят за пределы порога. В качестве обучающих выборок были заданы модельные участки, выбранные во время полевых ландшафтных и геоботанических работ.

Также для выделения типов ландшафтов использован алгоритм неконтролируемой классификации методом ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique — итерационная самоорганизующая методика анализа данных). Данный алгоритм целесообразно применять при отсутствии априорной информации об объекте съемки. Метод позволяет выделять контуры с неконтрастной по спектральной яркости структурой. Определены оптимальные параметры: количество классов — 11; максимальное число итераций — 20; порог сходимости (количество пикселов, которые меняют свою принадлежность к классу при переходе к следующей итерации) — 5 %; максимальное стандартное отклонение от среднего

— 13; минимальное число пикселей для выделения класса — 3; максимальное стандартное отклонение внутри класса — 5; минимальное спектральное расстояние — 5 пикселей.

После проведения неконтролируемой классификации полученная карта более объективно отражает близкие по значениям дешифровочных признаков группы объектов, чем при контролируемой классификации, т.к. кластеры определяются автоматически. Полученная карта потребовала дальнейшего объединения или разбиения классов, поскольку одни и те же объекты попали в разные кластеры (из-за условий освещения), а разные объекты оказались в одном кластере (из-за одинаковой яркости). В первом случае кластеры были объединены в один класс, а во втором — для различения объектов привлечены дополнительные дешифровочные признаки.

Следующий шаг в дешифрировании полученных участков — постклассификационная обработка, которая проведена методом «Анализ большинства». Цель метода — усилить воспроизведение распознанных объектов,

подавить шум и другие случайные помехи, иными словами — генерализация изображения. В процессе обработки происходило изменение размера каждого пиксела изображения в зависимости от значений соседних пикселей в скользящем окне размерами 3×3 пиксела.

После постклассификационной обработки проведен перевод полученных растровых изображений в векторную форму.

2. Динамика ландшафтов. В результате классификации с дальнейшим выделением типов ландшафтов созданы разновременные ландшафтные карты Убур-Дзокойской котловины, подкрепленные данными полевых исследований (рис. 2).

В ходе повторяющихся наблюдений на ключевых участках выявлено проявление единичных и групповых древесных и кустарниковых пород в травянистых сообществах, а также их гибель по опушкам кустарниково-лесных контуров. Характерная особенность структуры растительного покрова — существование многочисленных и небольших по размерам лесных массивов, расположенных по краям

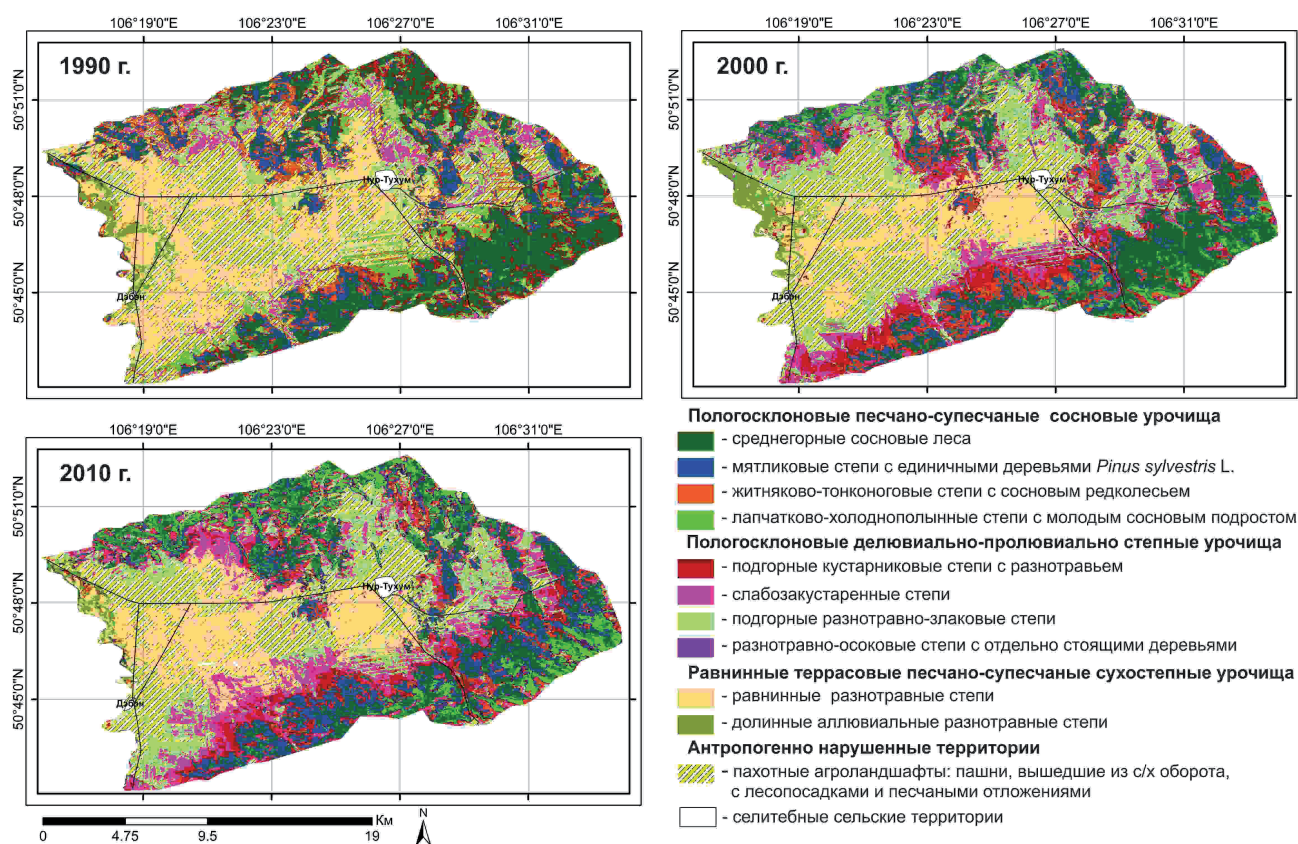


Рис. 2. Ландшафтные карты Убур-Дзокойской котловины

котловины. Среднегорные леса представлены преимущественно сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и занимают склоны северной экспозиции.

На полученной серии карт прослеживаются явные изменения растительного покрова. Так, на снимках 1990 г. сосновые леса составляли 14,2 % общей площади котловины, а к 2010 г. уменьшились до 10,6 %. В целом среднегорные сосновые леса, чередующиеся с сосновым редколесьем и отдельно стоящими соснами, занимали в 1990 г. 30,8 % территории исследования и к 2010 г. уменьшились до 26,1 %. В 2000 и 2010 гг. появляется новый класс — открытые участки на склонах среди соснового редколесья. Данный факт свидетельствует о постепенной замене лесных массивов разнотравно-осоковыми степными сообществами с отдельно стоящими деревьями. По мере продвижения ко дну котловины появляются разнотравные и разнотравно-злаковые степи, местами разреженные редкостоящими соснами. Но большую часть днища котловины занимают заброшенные сельскохозяйственные угодья. Если в 1990 г. агроландшафты с песчаными отложениями занимали 23,4 % котловины, то в 2010 г. их процентное соотношение увеличилось до 36,3 %. Образование барханного рельефа аллювиальных песков связано с антропогенным воздействием и динамикой ветрового режима [13, 14]. Об этом свидетельствуют открытые песчаные участки со скудной фрагментарной

растительностью и развеиваемые пески, полностью лишенные растительности.

3. *Динамика песчаных образований.* Для выделения ареалов песчаных объектов Убур-Дзокойской котловины загружен космоснимок WorldView-2 сверхвысокого пространственного разрешения (0,5 м) в композите «натуральные цвета» из бесплатного картографического Интернет-ресурса SAS.Планета. Ареалы песков получены в результате автоматизированной классификации данного изображения с помощью алгоритма ISODATA, описанного выше. Суммарная площадь песчаных образований (выделены красным цветом) равна 2,3 км², что составляет 1 % общей площади котловины (рис. 3).

Участок исследования находится в межгорном понижении почти параллельно р. Селенге на второй надпойменной террасе. Это песчаная гряда длиной 2,5 км, ориентированная с ССЗ на ЮЮВ (азимут 357°) — по основному направлению ветров (см. рис. 3). Южная часть гряды упирается в лесополосы из ив, высаженных на барханных песках в 1972–1979 гг. [6]. Со слов местного населения, до фитомелиоративных работ оголенные пески свободно развеивались по полям колхоза «Эрдэм».

Исследуемый бархан расположен в 1,2 км к юго-востоку от с. Дэбэн (см. рис. 3, выделен на снимке красной линией). Площадь его равна 6 570 м², максимальная ширина — 86 м, длина — 180 м. Высота бархана достигает 17 м. В плане он W-образен, представляет собой две

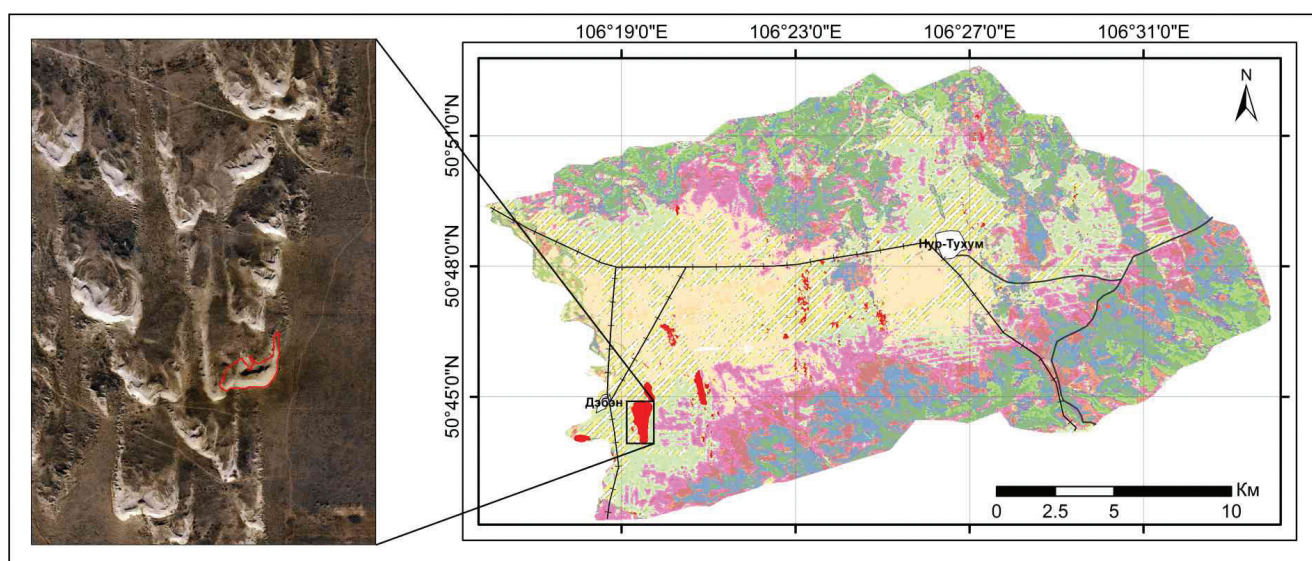


Рис. 3. Ареалы песчаных образований Убур-Дзокойской котловины

сросшиеся параболические дюны, образованные пассатным типом ветра (по классификации Леонтьева и Рычагова [15]). С северной стороны бархана расположена котловина выдувания, являющаяся источником переноса песка.

Скорость и направление ветра оказывают значительное влияние на перемещение эоловых форм рельефа. По данным метеостанции Новоселенгинск (www.gr5.ru) рассчитаны среднемесячные скорости и направления ветров с октября 2015 г. по октябрь 2016 г. Максимальные среднемесячные скорости ветра отмечены в мае (4 м/с). Повышенные скорости ветра отмечены в весенний и осенний периоды. Число дней со скоростью ветра свыше 10 м/с составляет в апреле 5 дней, в мае — 8. В это время преобладают ветры северо-западного направления, что видно из графиков повторяемости ветров метеостанции Новоселенгинск (рис. 4).

Для определения динамики границы «подошвы» одиночных барханов применен метод повторной тахеометрической съемки с постоянно закрепленных позиций. Метод отличается большой точностью, позволяет определять величину смыва, развеивания и аккумуляции наносов при эрозии/дефляции. В качестве модельного объекта выбрана южная часть бархана, более всего подверженная трансформации. Съемка осуществлена с помощью электронного тахеометра Trimble M3. Для производства работ были закреплены три точки съемочной основы долговременными знаками. Съемку осуществляли способом полярных координат. Обработка данных проведена в ПО CREDO ТОПОПЛАН. На рис. 4 представлены результаты разновременной съемки, отражающие перемещение песков (движение бархана) за 2014–2016 гг.

Площадь смещения передней границы подошвы бархана за три года составила 57,5 м², бар-

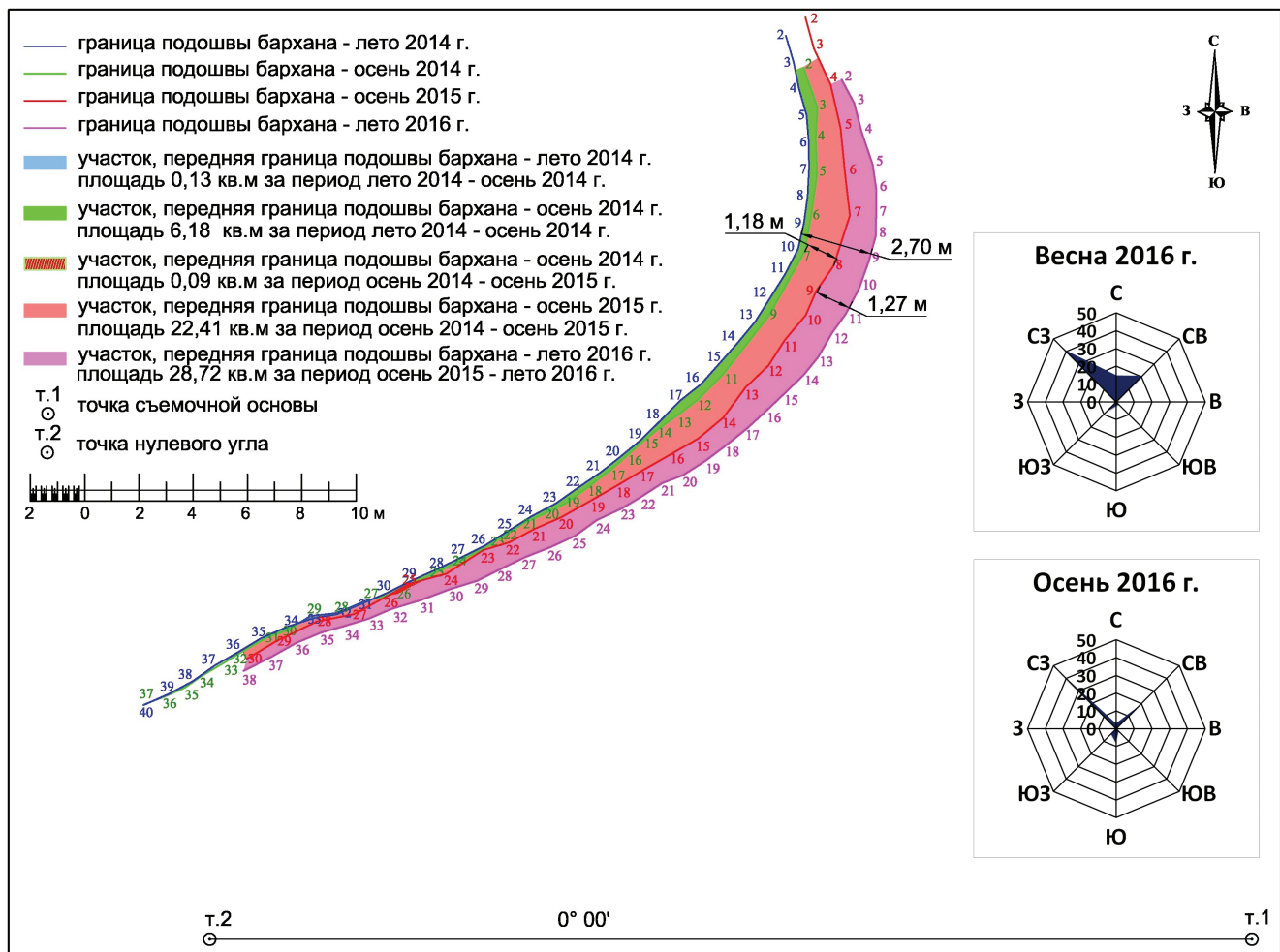


Рис. 4. Динамика изменения границ бархана в ур. Дэбэн

хан сдвинулся на 2,7 м (см. рис. 4). Отметим, что скорость перемещения бархана снизилась по сравнению с периодом активного использования сельхозугодий во второй половине XX в. — времени интенсивной распашки закрепленных песчаных отложений, которая привела к резкой активизации дефляции почв. Снижение скорости перемещения бархана вероятно связано с внутрикотловинным перераспределением полей ветров и влиянием лесозащитных полос.

4. ЦМР на основе стереоскопической съемки с БПЛА. В ПО Agisoft PhotoScan созданы высокоточные стереоскопические ЦМР одиночных барханов, расположенных в ур. Дэбэн, на основе данных съемки с борта квадрокоптера Phantom 3 Professional в октябре 2015 и 2016 гг. Съемка осуществлена с продольным и поперечным перекрытием, равным в обоих случаях 70 %. Эти высокие значения перекрытия необходимы для корректной фотограмметрической обработки стереопар снимков. В таблице приведены значения пространственного разрешения съемки в 2015 и 2016 гг. Для достижения таких высоких показателей высота съемки была небольшой — 40 м.

Год	Ортофотоплан, см/пиксел	Матрица высот, м/пиксел
2015	8,5×8,5	1,2×1,89
2016	2,2×2,2	0,54×0,85

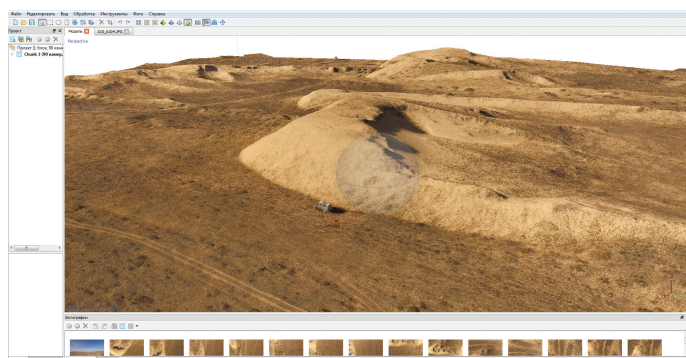
На рис. 5 показаны этапы получения ЦМР барханов в ур. Дэбэн, полученной съемкой с борта БПЛА в октябре 2015 г., на рис. 6 — этапы построения изолиний высот с шагом 1 м. Резюмируя можно сказать, что получена достаточно точная ЦМР барханной гряды. Так, точ-

ность привязки равна ± 20 см без дополнительных опорных точек местности.

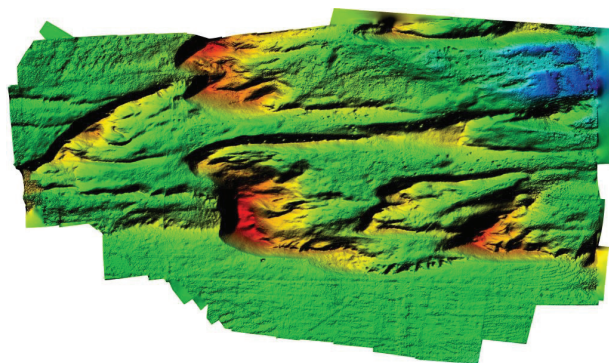
В ПО GNU Octave рассчитаны объемы песка бархана на основе полученных ЦМР. Так как модели рельефа получены в узлах регулярной сетки, то объем песка предпочтительнее определить методом дискретного интегрирования значений высоты относительно подошвы бархана с последующим умножением на размерность пиксела. Объем исследуемого бархана по результатам съемки 2015 г. равен 90875 м³, съемки 2016 г. — 91780 м³. Бархан прибавил в объеме 905 м³. Отметим уменьшение максимальной высоты бархана на 16 см за год.

Заключение. На основе автоматизированной классификации разновременных снимков Landsat TM, ландшафтных и геоботанических полевых работ выявлена пространственно-временная динамика ландшафтов Убур-Дзокойской котловины Селенгинского среднегорья. На полученных картах прослеживаются явные изменения растительного покрова, свидетельствующие об уменьшении площади лесов, постепенной замене их разнотравно-осоковыми степными сообществами с отдельно стоящими деревьями и увеличении песчаных отложений на неиспользуемых пашнях и залежах.

Предложенная комплексная методика анализа динамики ландшафтов впервые позволила с высокой точностью оценить морфометрические характеристики эоловых форм рельефа Убур-Дзокойской котловины, создать основу системы мониторинга процессов деградации земель и опустынивания. Для предотвращения развития процессов деградации и опустынивания земель на выявленных участках с

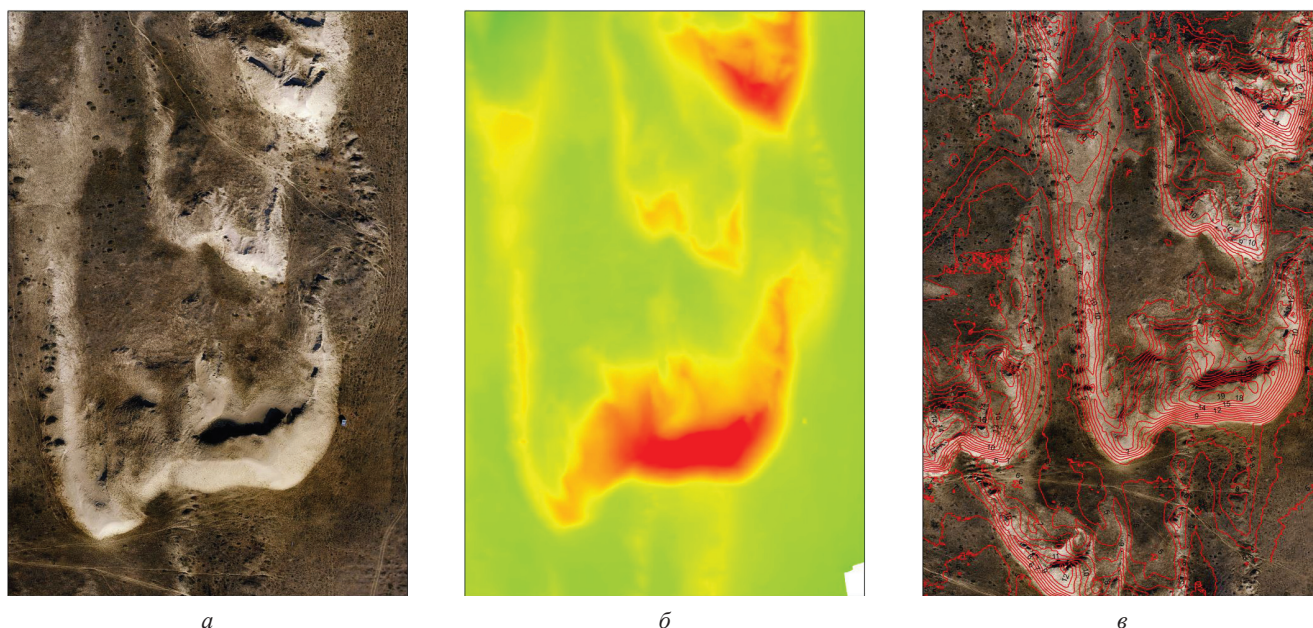


а



б

Рис. 5. Построение ЦМР барханов в ур. Дэбэн:
а — рабочее окно ПО Agisoft PhotoScan; б — непосредственно ЦМР



а

б

в

Рис.6. Этапы построения изолиний высот:

а — ортофотоплан; б — матрица высот; в — ортофотоплан с изолиниями

наибольшей экологической напряженностью необходимо принятие срочных организационно-хозяйственных мероприятий по сохранению естественной растительности (мелиорация, восстановление лесозащитных полос, регулирование выпаса скота и т.д.).

Работа выполнена в рамках Программы IX.137.2 «Природные и социально-экономические процессы в зоне влияния Великого Шелкового и Чайного пути в условиях глобализации и изменения климата».

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А.Д. Эоловые пески Западного Забайкалья и Прибайкалья. – Улан-Удэ: Бурятское книжное изд-во, 1966. – 228 с.
2. Выркин В.Б. Эоловое рельефообразование в Прибайкалье и Забайкалье // География и природные ресурсы. – 2010. – № 3. – С. 25–32.
3. Баженова О.И., Кобылкин Д.В., Мартыанова Г.Н., Снытко В.А., Тюменцева Е.М., Щипек Т. Современное эоловое рельефообразование в степях и лесостепях юга Восточной Сибири // Acta Geographica Silesiana, WNoZ UŚ, Sosnowiec, 2015. – № 19. – S. 29–38.
4. Будаев Х.Р., Дамбиев Э.Ц. Закрепление подвижных песков в Бурятии // География и природные ресурсы. – 1981. – № 2. – С. 146–149.
5. Дамбиев Э.Ц., Намзалов Б.Б., Холбоева С.А., Валова Е.Э. Региональная геоэкология: агроландшафты степей Бурятии: учеб. пособие. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2013. – 182 с.
6. Будаев Х.Р. Леса зеленой зоны и озеленение городов и сел Бурятии. – Улан-Удэ: Бурятское книжное изд-во, 1985. – 150 с.

7. Фадеева Н.В. Селенгинское среднегорье (Природные условия и районирование). – Улан-Удэ: Бурятское книжное изд-во, 1963. – 169 с.

8. Базаров Д.Б. О развитии развеваемых песков на междуречье Селенга–Хилок и мерах борьбы с ними / Материалы по изучению производительных сил БМАССР. Вып. 3, Улан-Удэ, 1957.

9. Королюк А.Ю. Оценка деградации растительного покрова степных и лесостепных ландшафтов по космическим снимкам // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2010. – Т. 4. – № 2. – С. 45–49.

10. Дамбиев Э.Ц., Намзалов Б.Б., Холбоева С.А. Ландшафтная экология степей Бурятии. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского государственного университета, 2006. – 185 с.

11. Farr T.G., Hensley S., Rodriguez E., Martin J., Kobrick M. The Shuttle Radar Topography Mission // CEOS SAR Workshop, Toulouse, 26–29 Oct. 1999, Noordwijk. 2000. – pp. 361–363.

12. Батоцыренов Э.А., Аюржанаев А.А., Цыдыпов Б.З., Гуржапов Б.О., Содномов Б.В., Жарникова М.А., Чеботаева Д.О., Алымбаева Ж.Б., Гармаев Е.Ж. Использование малых беспилотных аппаратов в географических исследованиях / Исследования природных феноменов и социально-экономических процессов в Азиатской России и Монголии: материалы всероссийской научной конференции (Улан-Удэ, 9–10 октября 2015 г.) / Отв. ред. Ц.З. Доржиев. – Улан-Удэ: Издательство Бурятского государственного университета, 2015. – С. 93–98.

13. Баженова О.И., Любцова Е.М., Рыжов Ю.В., Макаров С.А. Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1997. – 208 с.

14. Баженова О.И., Кобылкин Д.В. Динамика процессов деградации почв в бассейне Селенги в земледельческий период // География и природные ресурсы. – 2013. – № 3. – С. 33–40.

15. Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1979. – 287 с.

Принята к печати 8 февраля 2017 г.