

УДК 551.482.6:551.459 (571.54)

Е. А. ИЛЬИЧЁВА, О. В. ГАГАРИНОВА, М. В. ПАВЛОВ

Институт географии СО РАН, г. Иркутск

ГИДРОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТОВ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ

Рассмотрены причины изменения дельтовой поверхности и представлен анализ колебания площадных характеристик за последние 50 лет. Показано, что динамичность субаэриальной поверхности дельты, обусловленная современными эрозионно-аккумулятивными процессами, в наибольшей степени проявляется в периоды повышенной водности, что способствует высотным и плановым перестройкам рельефа и гидрографической сети. Исследованы взаимосвязи определенных ландшафтных компонентов с гипсометрическим положением, локализацией относительно основных элементов гидрографической сети дельты, условиями увлажнения территории. Приведены данные по распространению и структурному составу ключевых видов растительности в соответствии с гидролого-геоморфологическими особенностями их местообитания. Установлено, что по структурным и возрастным характеристикам растительных комплексов возможно определять динамику преобразований элементов рельефа и в перспективе индентифицировать интенсивность и временные периоды переформирования дельтовой поверхности. По материалам экспериментальных исследований и с использованием данных дистанционного зондирования осуществлено ландшафтно-гидролого-геоморфологическое районирование поверхности дельты, главный критерий которого — интенсивность и направленность ведущих гидроморфологических процессов. Зонирование субаэриальной поверхности дельты позволило выделить различные по устойчивости к эрозионным изменениям участки дельты и рекомендовать наиболее приемлемые в плане хозяйственного развития территории.

Ключевые слова: речная сеть, рельеф, русловой процесс, гидрологический режим, поверхностные воды.

We examine the causes for changes in the delta surface and carry out an analysis of the area characteristics for the last 50 years. It is shown that the dynamicity of the subaerial delta surface, caused by contemporary erosion-accumulation processes, manifests itself most clearly at periods of increased hydraulicity, which promotes restructuring of the relief in elevation and plan, and of the hydrographic network. We investigate the interrelations of particular landscape components with the hypsometric position, the location relative to the main elements of the hydrographic network of the delta, and with the humidification conditions of the territory. Data are provided for the distribution and structural composition of the key vegetation species in accordance with the hydrologo-geomorphological properties of their habitat. It is found that the structural and age characteristics of plant complexes can be used to determine the transformation dynamics of topographic features and, in the future, to indicate the intensity and time intervals of delta surface reconfiguration. Based on observational evidence and remote sensing data, we carried out a landscape-hydrologo-geomorphological regionalization of the delta surface, the principal criterion of which were the intensity and directedness of the leading hydromorphological processes. A zoning of the subaerial delta surface was instrumental in identifying different (in resistance to erosional changes) tracts of the delta and recommending the most acceptable of them for economic development of the territory.

Keywords: river network, relief, channel process, hydrological regime, surface waters.

ВВЕДЕНИЕ

Дельта Селенги благодаря своим компактным размерам привлекает исследователей возможностью детального изучения процессов дельтоформирования и может рассматриваться как модель развития разнообразных форм рельефа и связанных с ними типов ландшафтов. Определенное внимание в данном исследовании сосредоточено на взаимосвязи видового и возрастного разнообразия растительных сообществ с геоморфологическими и гидрологическими процессами территории.

Исследование ландшафтов устьевой области р. Селенги продолжается на протяжении почти ста лет с определенной периодичностью и степенью проработки. Значимый вклад в изучение растительности и геоморфологии района исследования внес Б. А. Богоявленский, создав карту растительности дельты, основанную на материалах аэросъемки [1]. В 2001 г. по результатам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) составлена ландшафтная карта с классификацией по генетическим типам и выделением режимов функционирования геосистем и их компонентов [2]. Позднее в 2008 г. в коллективной монографии [3] даны оценки устойчивости геосистем и их природоохранных функций, охарактеризован состав растительности пойменных областей дельты с акцентом на видовом разнообразии.

разии высшей водной растительности. Постоянная трансформация субаэральной поверхности дельты обуславливает изменение структуры ландшафтов, проявляющееся в первую очередь в смене видового состава растительности. Возникает необходимость дополнения классификаций, уточнения и обновления ландшафтных карт. В данной работе гипсометрические уровни и связанные с ними геоморфологические (генетические) формы, а также удаленность от вершины дельты выступают основными критериями обоснования смены ландшафтных характеристик.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Морфометрия дельтового конуса, положение и конфигурация внешних границ, динамика гидрографической системы находятся в непрерывном процессе переформирования, который определяется природными и антропогенными процессами. Основными природными факторами, оказывающими влияние на дельту Селенги, являются колебания уровня Байкала, гидрологический режим речной сети и местные ландшафтные характеристики. Нахождение в активном тектоническом районе также обуславливает специфику развития территории. Антропогенные нагрузки, осуществляемые по всей площади водосбора реки и непосредственно в устьевой области, оказывают серьезное влияние на процессы трансформации и экологическое состояние природного комплекса устья Селенги.

Современная субаэральная поверхность дельты ограничивается с материковой части бровками позднеплейстоценовых террас, расположенными на отметках выше 460 м над ур. моря, главным узлом бифуркации в районе с. Малое Колесово, ниже которого русло разбивается на три основных направления стока (Селенгинское, Среднеустьевское и Лобановское), и современной береговой линией озерного края дельты. Авандельта отделяется от озера цепью песчаных подводных баров, протягивающихся по периферии дельты на расстоянии 1–3 км от залива Черкалов сор на юге до мыса Облом на севере. Подводный склон дельты распространяется более чем на 5 км в глубь оз. Байкал. По нашему мнению, в рассматриваемых пределах происходит формирование современного тела дельты за счет флуктуации береговой линии ее озерного края, плановой миграции протоков, исчезновения ранее существовавших и появления новых русел, формирования междуречных пространств.

Абсолютные отметки субаэральной поверхности дельты находятся в пределах 455,5–460 м, глубины в руслах составляют в среднем 2–3 м и могут достигать 10–11 м. Максимальные высоты террас (3–5 м) расположены на привершинных участках и по сторонам дельтового прогиба.

Дельтовый конус сложен аллювиальными отложениями, представленными в вершине и центральной части дельты гравийно-песчаным материалом, а в устьевых участках — мелкозернистыми песками и илами. Основным источником их поступления служат песчаные отложения позднеплейстоценовых террас и галечно-гравийные отложения более древних свит, размывающихся рекой в узле бифуркации и выше по течению. Мощности дельтовых отложений составляет 2,7–3 км [4].

Наиболее интенсивные процессы переформирования дельты связаны с периодами прохождения половодья и паводков, когда отмечается активизация русловых процессов, приводящая к перераспределению стока и образованию новых русел. Береговая эрозия для проток дельты в целом оценивается как высокая: от 10 м/год в вершине дельты до 3–5 м/год в центральной части.

Исходными материалами исследований послужили данные ДЗЗ высокого разрешения (осень 2011 г.) и экспедиционных работ 2003–2013 гг., включающих нивелирную съемку и уточнение результатов дешифрирования. Абсолютные отметки поверхности и геоморфологических уровней определены по топографическим картам, данным SRTM и ASTER GDEM и дополнены результатами нивелирных съемок IV класса. Состав, мощность геологических свит и геоморфологические уровни получены с Геологической карты СССР [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Площадь современной субаэральной поверхности дельты по данным различных исследователей оценивается от 560 до 1200 км² [5, 6]. Исходя из естественных природных границ и анализа топографических карт и лотий за период с 1898 [7, 8] по 1956 г. [9], площадь увеличилась с 563 до 605 км² за счет выдвигания ее фланговых частей. В указанный период амплитуда колебания уровня Байкала составляла около 2,5 м [10]. В результате сооружения Иркутской ГЭС (1956 г.) колебания уровня Байкала снизились до 1 м, что привело к уменьшению влияния уровневого режима озера на формирование дельты. Основная роль теперь отводится стоку воды и наносов, а также тектоническим проявлениям. К 1986 г. площадь дельты, рассчитанная в указанных границах, составляла 602 км², в 1998 г.

отмечено ее уменьшение до 535 км², к 2007 г. она составляла 558 км², а в 2011 г. — 543 км². Основной причиной уменьшения площади к настоящему времени является затопление поверхности дельты в устьях протоков Среднеустьевского направления, вероятно, вызванное уплотнением дельтовых отложений и усиленное постоянно происходящими землетрясениями. Такой механизм рассматривал Г. Ф. Уфимцев для объяснения возникновения провальных явлений на Байкале [11].

Формирование и трансформация ландшафтов дельты зависят от геоморфологических и гидрологических процессов в сочетании с различными вариациями затоплений, заболачивания и др. Исследования последних 10 лет показывают значительные изменения плановых, высотных и структурных характеристик ландшафтов [2, 12]. Эрозионно-аккумулятивная деятельность потоков приводит к исчезновению и(или) трансформации существовавших ландшафтов и образованию новых. Ландшафты территории имеют непродолжительный период развития, по нашим оценкам в среднем 10–15 лет (редко 50 лет и более).

Наиболее показательные изменения структуры ландшафтов, обусловленные динамикой русловой сети, представлены на рис. 1. Рассматриваемый участок расположен в привершинной части дельты (см. рис. 1, а, б), где наблюдаются максимальные плановые смещения русла с 1956 по 2011 г., образование аккумулятивных островов с древесной растительностью, возраст которой по годичным кольцам насчитывает 40–45 лет (см. рис. 1, в). За указанный период левый берег в вершине дельты, где были распространены разнотравно-злаковые луга, эродировал более чем на 350 м, правый (аккумулятивный) сместился на 1215 м и закрепился тальниковой порослью (см. рис. 1, б). В течение по-

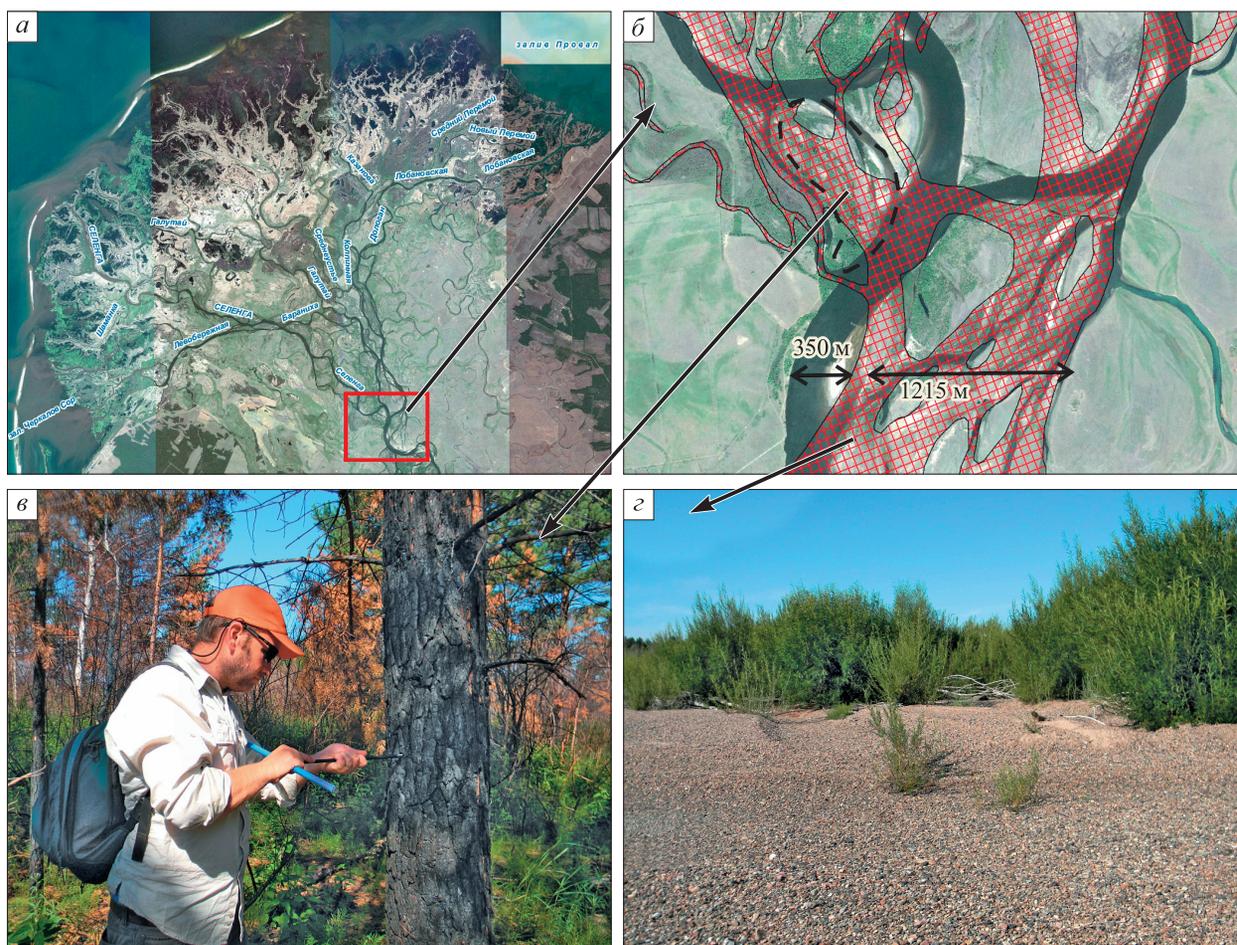


Рис. 1. Динамика русловой сети и смены ландшафтов дельты Селенги.

а — дельта с выделением привершинной части; б — плановое смещение русловой сети с 1956 (заштриховано) по 2011 г. (космоснимок); в — дендрохронологические исследования на аккумулятивном острове; г — гравийно-галечный пляж в вершине дельты с молодой тальниковой растительностью.

Матрица соответствия типов растительности и геоморфологических уровней

Номер (см. рис. 2)	Растительность	Геоморфологические уровни				Занимаемая площадь, %
		Поверхности средне- и позднеплейстоценовых террас (выше 460 м)	Поверхности надпойменных террас (458–460 м)	Поверхности пойменных террас (456–458 м)	Авандельта и поверхности кос и баров (455,5–456 м)	
Леса (8,85 %)*						
1	Сосновые боры	+				0,23
2	Сосновые с подлеском на вырубках	+				0,21
3	Сосновые с подлеском кустарниково-разнотравные	+				0,18
4	Сосновые с березой кустарниково-травяные	+				7,35
5	Сосновые с березой и осиной, кустарничковые	+	+			0,19
6	Березовые и осиново-березовые с единичной сосной разнотравные	+	+			0,36
7	Мелколиственные леса	+				0,31
8	Яблоневые леса с подлеском из шиповника и спиреи	+		+		0,01
Кустарники (8,4 %)						
9	Ивы и заросли ерниковой березки на останцах или водораздельных и междуречьях			+		2,72
10	Ивовые злаково-разнотравные сообщества		+			1,99
11	Кустарники с участками увлажненных осоково-разнотравных лугов в понижениях рельефа		+			3,69
Луга (50,22 %)						
12	Остепненные разнотравно-злаковые луга	+	+			10,55
13	Луговые тальниковые злаково-разнотравные	+	+			9,26
14	Луговые разнотравные с редким кустарником	+	+			5,90
15	Злаково-разнотравные и осоково-разнотравные луга с участками болот		+			12,38
16	Осоково-тростниковые заливные луга		+	+		3,67
17	Осоково-камышовые заболоченные луга			+		8,47
Заболоченные территории и болота (30,57 %)						
18	Травяные болота — калтусы	+				0,36
19	Торфяные болота в понижениях рельефа		+			0,10
20	Кочковатые участки на осушенных территориях			+		2,71
21	Осоково-хвощовые травяные болота с избыточным увлажнением			+		4,33
22	Камышовые с рогозом заросли вдоль берегов проток и озер			+		14,45
23	Водная растительность в зарастающих сорах и мелководьях — совокупность гидрофитов и гидатофитов			+	+	8,62
Слабовыраженные в масштабе (1,96 %)						
24	Растительность кос и осередков, намывных берегов		+			0,18
25	Растительность подводных баров			+	+	1,28
26	Слабозадерживаемые склоны высоких террас и их останцов с редкими соснами					0,42
27	Лесопосадки					0,07

* В скобках указана доля от общей площади дельты.

следних 10 лет смещение русла на этом участке составило для левого берега — 75 м, для правого — 100 м, что подтверждается и дендрохронологическими исследованиями возраста кустарников (10–15 лет) (см. рис. 1, *з*).

Таким образом, в первую очередь молодые аккумулятивные формы в течение одного-двух вегетационных сезонов закрепляются травяной и кустарниковой растительностью, которую впоследствии сменяют древесные виды (сосна, береза, тополь, режа яблоня).

Взаимосвязь основных видов растительности с геоморфологическими уровнями, определенная по актуальным данным, представлена на рис. 2 и в таблице. Наибольшую территорию дельты занимают луга (более 50 %), которые распространены на высоких и пойменных террасах. Различные заболоченные территории и болота широко развиты в ее периферийной части (более 30 % площади) и на поверхностях пойм. Леса приурочены к высоким террасам и реже встречаются на междуречных пространствах основного узла бифуркации (до 9 %). Кустарники произрастают повсеместно, в основном вдоль русел (8,4 %), исключая озерный край дельты.

Анализ пространственных и структурных особенностей ландшафтов территории позволил разделить поверхность дельты на районы: субаэральная часть (районы 1–4) и субаквальная (район 5) (рис. 3).

Район 1. Первый от вершины дельты район соответствует наиболее древнему геоморфологическому уровню с отметками выше 460 м, представлен поверхностями Кударинской и Кабанской террас и их останцами, сложенными аллювиальными отложениями средне-позднеплейстоценового возраста. Здесь на слабоволнистых поверхностях сохранились уникальные древние степи [13] и сухие разнотравные луга, присутствуют сосновые боры и мелколиственные леса, а в прогибах распространены травяные болота (калтусы). Одним из реликтов этой территории являются дикорастущие яблони Палласа, которые единично встречаются почти на всех гипсометрических уровнях. На слабозадернованных склонах высоких террас развиваются эоловые процессы. В формировании современного облика дельты данная территория выступает как поставщик наносов, формируемых в результате экзогенных процессов (выветривание, плоскостная водная эрозия) и непосредственного размыва крутых речных берегов. Таким образом, современные ландшафты дельты формируются ниже уровня 460 м, ограниченного бровкой второй надпойменной террасы, но при непосредственном влиянии данной территории. Район выполняет серьезную средоформирующую роль в плане как ландшафтных, так и гидрологических процессов.

Любые антропогенные воздействия на остепненные сосняки, сосново-березовые леса, сухие степи этой территории являются причиной интенсификации процессов эрозии и опустынивания [2, 3]. Изменения ландшафтной структуры в сочетании с экзогенными процессами ведут к снижению увлажненности территории (и так низкой), происходящей в результате нарушения стокоформирования и стокорегулирования малых водотоков, вплоть до их полного истощения и исчезновения. Этот район наиболее активно используется в сельском хозяйстве, здесь расположены населенные пункты с автотранспортной инфраструктурой, практически повсеместно распространены сенокосы, пашни, вырубki и лесопосадки.

Район 2. На более низких отметках (460–458 м) большая часть дельтовой равнины представлена долинными комплексами трех основных направлений стока с протоками Лобановская и Дологан, Среднеустье и Колпинная, Галутай, Селенга (основное русло) и Левобережная (Бурятская). Территория отличается проточным режимом увлажнения. В этом районе наиболее развиты эрозионно-аккумулятивные процессы, плановые смещения русел. За последние годы произошло существенное изменение гидросети; исчезли такие протоки, как Епишкина, Сахаркова, Средний Перемой, возникли Казанова, Левобережная, появились новые узлы бифуркации: Селенга–Левобережная, Лобановская–Дологан [14]. Затопление и подтопление, происходящие в многоводные периоды (последние наблюдались в 2012–2013 гг.), не способствуют долговременному развитию древесных сообществ. Исключение составляют сосново-березовые леса на исчезающих останцах высоких террас, занимающие незначительные площади. Доминируют в первую очередь разнотравно-злаковые луга в сочетании с кустарниками в междуречных пространствах на хорошо дренируемых почвах и травяными болотами в многочисленных зарастающих старицах. Кустарниковые сообщества (ивняки) являются основным ландшафтообразующим элементом этой территории и оказывают непосредственное влияние на водные объекты, в значительной степени обуславливая направленность и интенсивность перестройки гидрографической сети. Продолжительность существования кустарниковой растительности на междуречных пространствах в среднем составляет 15 лет (экспертная дендрохронологическая оценка), в то время как на останцах возраст деревьев достигает полувека. Территория используется местным населением под сенокосы и выпас скота, для охоты, рыболовства, отдыха, водного туризма.

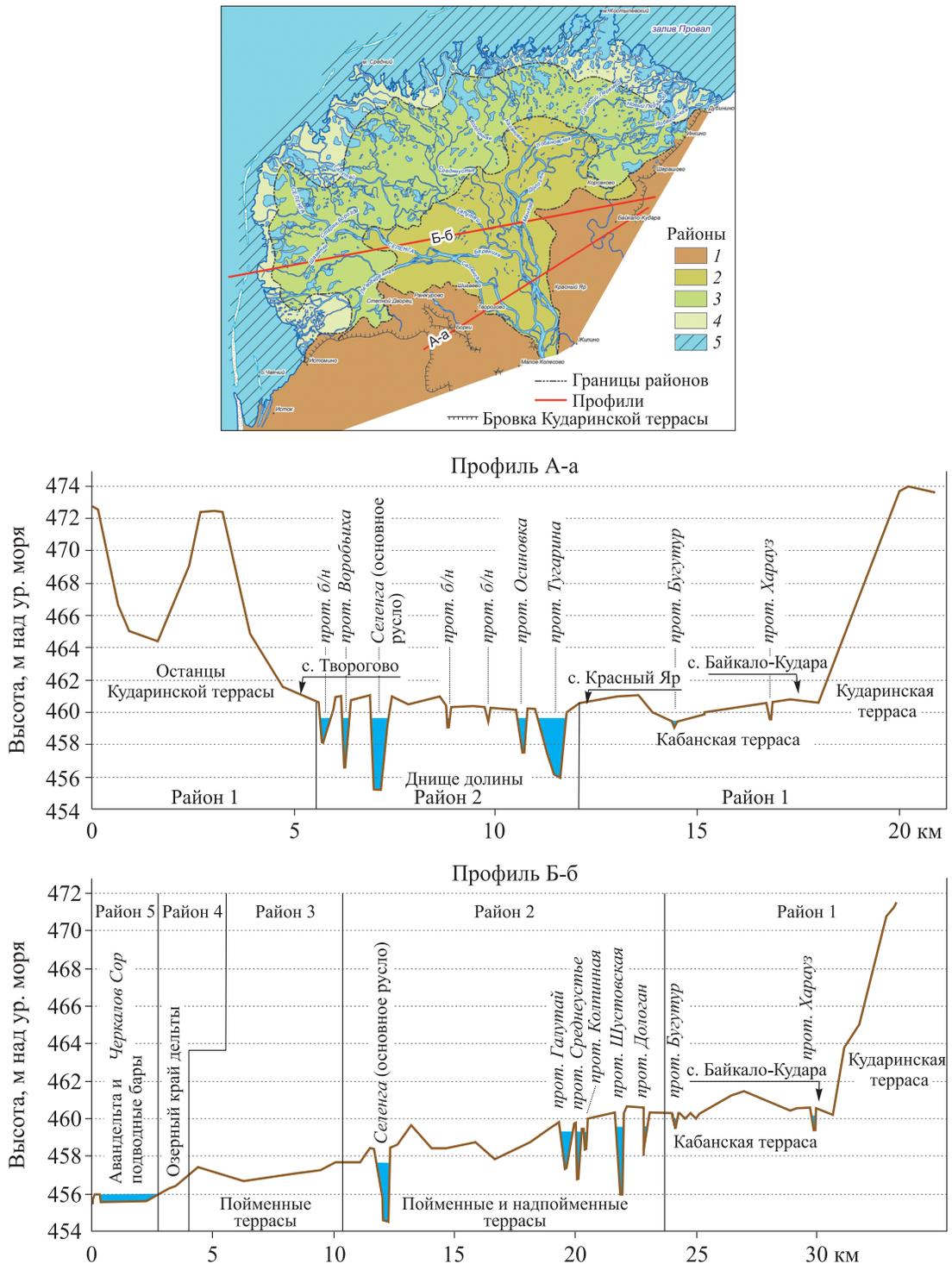


Рис. 3. Ландшафтно-гидролого-геоморфологическое районирование и геоморфологические профили дельты Селенги.

Описание районов см. в тексте.

Район 3. В пределах высот 458–456 м происходит интенсивное рассредоточение стока по мелким протокам, для их русел характерны малые уклоны (0,03 ‰) и подпор со стороны оз. Байкал. Это область с избыточным увлажнением и контактом грунтовых и поверхностных вод; здесь распространены озера, заливные луга и болота, вдольрусловые заросли ив, тальников и тростников. Растительные сообщества территории представляют особую водоохранную и стокорегулирующую ценность, особенно в отношении минерализованных грунтовых вод и стока, приносимого главной рекой и насыщенного загрязняющими веществами [3].

Район 4. Озерный край дельты изобилует лагунами и лиманными озерами, подтопленными устьями, руслами, выходящими в соры до 2 км, а также молодыми формирующимися устьевыми барами. Берега индицируются тростниками на подводных береговых валах, сложенных неуплотненными обводненными илами и мелким песком. По внешнему краю дельты и на поверхности озер повсеместно распространены гидрофиты (тростники, нимфоцветник, рдест и др.), способствующие фильтрации растворенных и взвешенных веществ, а также накоплению речных наносов и биомассы, что создает условия для очищения речных вод и выдвигания дельты.

Район 5. Авандельта представляет собой соры (мелководья) с глубинами 0,4–1 м, ограничена подводными барами и косами с отметками ниже 456 м и современными уровнями оз. Байкал. В составе растительности присутствуют многочисленные виды высших водных растений. В зависимости от гидрологических условий, глубин, характера дна в различных частях авандельты встречаются воздушно-водные, плавающие и погруженные растения. Заросли высшей водной растительности выполняют функцию естественного фильтра биогенных элементов, токсичных веществ, минеральных и органических соединений, которые поступают с водосбора в вегетационный период.

Во всех районах формируются ландшафты русловых мезоформ. Так, образование осередков происходит в течение одного-двух лет, после чего его поверхность закрепляется плотными зарослями тальников. Постепенное разрастание таких зарослей приводит к задерновыванию и укреплению кос, отмелей и берегов водотоков, что препятствует в дальнейшем их размыву и создает определенные направления в русловом процессе и плановых переформированиях речной сети.

Свежие формы руслового рельефа достаточно быстро осваиваются растениями и включаются в процесс современного дельтообразования. Наиболее ярким примером служит молодой узел бифуркации

проток Лобановская и Дологан (рис. 4), где до середины 1990-х гг. существовал крупный остров (около 10 км²), разделявший эти протоки. Современный правый аккумулятивный берег протоки Дологан шириной 200 м и протяженностью более 500 м сформирован серией вдольбереговых валов высотой 0,5–1 м, поверхности которых закреплены разновозрастными ивами и тальниками. По мере удаления от берега возраст кустарников увеличивается от 5 до 25 лет (см. рис. 4, б).

По нашему мнению, растительность русловых форм является индикатором определенных гидроморфологических процессов и может служить точкой отсчета в определении периодов переформирования (возраста) поверхности дельты.

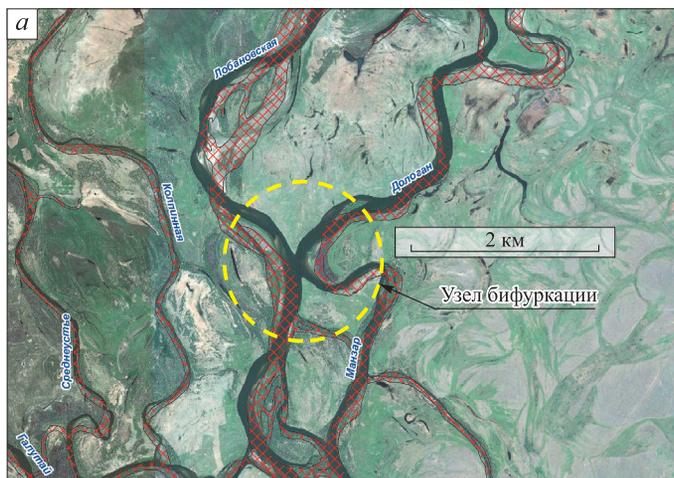


Рис. 4. Ландшафты молодого узла бифуркации в дельте Селенги.

а — положение участка (штриховкой показано положение русел в 1956 г.); б — аккумулятивный берег, осенний паводок 2013 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для дельты Селенги отмечается высокая динамичность гидролого-геоморфологических процессов и, как следствие, относительно быстрая смена компонентов ландшафтов, что свидетельствует об их тесной взаимосвязи. Видовые и возрастные характеристики растительности могут говорить об относительном возрасте ландшафта в целом и о том или ином процессе его формирования, а также об устойчивости или нестабильности отдельных участков субаэральной поверхности дельты.

Выявленные особенности формирования ландшафтов в результате гидролого-геоморфологических процессов представляют интерес для дальнейших исследований. Взаимосвязи структуры, пространственного распределения различных типов растительности, скорости эрозионно-аккумулятивных процессов и водного режима являются перспективным направлением дальнейшего изучения территории.

Следует отметить важный аспект представленной работы — ее экспериментальный характер. Многолетнее экспериментальное изучение территории дельтовой области Селенги направлено на получение представления о водно-эрозионных и гидрохимических процессах, на выявление особенностей трансформации растительных сообществ и антропогенных изменений территории. Считаем, что многие компоненты анализа и оценки требуют дополнительных генетических и статистических обоснований, и это является стимулом для продолжения и расширения экспериментальных исследований и теоретических разработок на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Богоявленский Б. А.** Моделирование природы озерного края селенгинской дельты, ее динамика и прогноз развития // История развития речных долин и проблемы мелиорации земель. — Новосибирск: Наука, 1979. — С. 105–128.
2. **Экологически** ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Район дельты р. Селенги / Ред. А. Н. Антипов, А. К. Черкашин. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2002. — 149 с.
3. **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.
4. **Геологическая** карта СССР. Сер. Прибайкальская / Ред. С. М. Замараев. — М.: Недра, 1965. — Л. N-48-XXXV.
5. **Корытный Л. М., Ильичёва Е. А., Павлов М. В., Амосова И. Ю.** Гидролого-морфологический подход к районированию дельты р. Селенги // География и природ. ресурсы. — 2012. — № 3. — С. 47–54.
6. **Dong T. Y., P'icheva L., Nitttrouer J. A., Pavlov M.** Morphology and sediment transport dynamics of the Selenga River delta, Lake Baikal, Russia // American Geophysical Union Fall 2013 Annual Meeting, San Francisco [Электронный ресурс]. — <http://report.rice.edu/sir/faculty.detail?p=621B49451B575FFC622AAB020321384F> (дата обращения 18.12.2014).
7. **Лоция** и физико-географический очерк озера Байкал / Под ред. Ф. К. Дриженко. — СПб.: Изд. Гл. гидрогр. управления, 1898. — 443 с.
8. **Атлас** озера Байкал. Составлен Гидрографической экспедицией под начальством полковника Ф. К. Дриженко. — СПб.: Изд. Гл. гидрогр. управления, 1902. — 31 л.
9. **Атлас** озера Байкал. Прибрежная часть. — Иркутск: Изд. М-ва Речного флота, 1959. — 45 л.
10. **Динамика** берегов озера Байкал при новом уровне режиме. — М.: Наука, 1976. — 88 с.
11. **Уфимцев Г. Ф.** Загадка залива Провал // Наука в России. — 2004. — № 1. — С. 75–79.
12. **Коновалова Т. И.** Геосистемное картографирование. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2010. — 184 с.
13. **Виноградов Б. В.** Развитие концепции опустынивания // Изв. РАН. Сер. геогр. — 1997. — № 5. — С. 94–105.
14. **Ильичёва Е. А., Корытный Л. М., Павлов М. В.** Руслловая сеть дельты р. Селенги на современном этапе // Вестн. Том. ун-та. — 2014. — № 380. — С. 190–194.

Поступила в редакцию 11 февраля 2015 г.