

М.Б. Фардеева, Н.А. Котова

Казанский (Приволжский) федеральный университет, orchis@inbox.ru

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПОПУЛЯЦИЙ ДЕРЕВЬЕВ В УСЛОВИЯХ ОПОЛЗНЕВО-ОСЫПНЫХ СКЛОНОВ ПРАВОБЕРЕЖЬЯ РЕКИ ВОЛГИ

Мониторинг состояния растительности и биоразнообразия флоры в склоновых сообществах правобережья р. Волги и Куйбышевского водохранилища позволяют оценить степень активности/устойчивости экзогенных процессов на данных участках и предупредить риски возникновения новых. В работе представлены результаты исследования лесных сообществ в 2008–2022 гг. на устойчивом, временно-стабильном и активном оползневых склонах и поиски эффективных методов фитоиндикации для оценки их состояния. Определение сукцессионных серий фитоценозов по элементам оползня позволили выявить демутационно-дегрессивные ряды растительности, которые зависят от активности оползнево-осыпных процессов, а также условий субстрата и крутизны склона, возможностей поступления зачатков и антропогенных факторов. Появление 2–3-летнего подроста деревьев отмечено через 20 лет после последнего экзогенного процесса. Использование коэффициента общности Серенсена-Чекановского для оценки сходства фанерофитов в фитоценозах коренного участка и элементов оползня является эффективным – чем ближе его значение к 1, тем интенсивнее проходят процессы лесовосстановления. По результатам оценки динамики численности и возрастной структуры лесообразующих видов деревьев выявлено, что устойчивая полночленная популяция *Quercus robur* отмечена только на коренных участках склонов. Популяции *Tilia cordata* и *Acer platanoides* имеют полночленную структуру по устойчивым элементам оползня, формируя лесные сообщества, обеспечивают закрепление субстрата. На основе оценки высоты и диаметра стволов разных деревьев выявлено, что многоярусная структура леса отмечена только в дубравах коренного участка склона. В нижней части устойчивых, либо временно-стабильных элементов оползня нарушается многоярусность сообществ, снижается густота их древостоя и сомкнутость крон, увеличивается доля *T. cordata*, *A. platanoides*, *B. pendula*, *P. tremula*. Динамика запасов древесины разных деревьев отражает продуктивность лесных сообществ и особенности лесовосстановления в условиях экзогенных процессов, что зависит от возраста оползня, подвижности либо устойчивости его элементов. Ведение в практику методов фитоиндикации обеспечивает эффективное определение активности/устойчивости склонов по берегам Куйбышевского водохранилища.

Ключевые слова: оползнево-осыпные склоны; сукцессивные серии фитоценозов; динамика популяций деревьев; продуктивность; берега Куйбышевского водохранилища.

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.2.04.17>

Введение

Мониторинг оползнево-осыпных процессов правобережья реки Волги позволяет оценить состояние растительных сообществ в условиях гравитационной подвижности грунта берегов, обусловленных как естественным действием реки, так и антропогенным регулированием уровня Куйбышевского водохранилища. Состояние растительных сообществ оползневых склонов зависит от площади и состояния коренных участков склона, которые часто подвергаются интенсивной распахке, а также застройке и прокладке различных коммуникаций (Nigmatullina et al., 2015). Особенно опасным считается комплекс абразионно-оползневых процессов, как самых значи-

тельных по интенсивности переработки берегов и площади проявления. На правобережье р. Волги подобные нарушения часто приводят к чрезвычайным ситуациям, связанным с угрозой полного разрушения зданий и сооружений, дорог, деградации земельных ресурсов, а также к ухудшению экологического состояния водоема (Yermolaev et al., 2021). В связи с этим необходима разработка различных методов мониторинга активности оползневых движений, что имеет решающее значение для определения опасности оползней, оценки их воздействия на объекты инфраструктуры и природные экосистемы (Фардеева, 2021; Kotova et al., 2022).

Основными направлениями исследований

оползневых процессов являются инвентаризация местоположения оползней (Cruden, 1991), оценка устойчивости склонов, районирование территорий по степени опасности возникновения оползневых явлений (Van Westen et al., 2006; Fell et al., 2008; Petschko et al., 2014; Nigmatullina et al., 2015). Мониторинг оползневых процессов необходим для понимания механизмов их возникновения и раннего предупреждения экологических рисков (Casagli et al., 2010; Corominas et al., 2014; Thiebes et al., 2014). При этом применяются как традиционные методы изучения свойств пород и грунтов, наблюдения за уровнем подземных вод в специально оборудованных скважинах, их измерения на опорных реперах, топографическая съемка, так и современные методы дистанционного зондирования: беспилотные летательные аппараты (UAV) и глобальная навигационная спутниковая система (GNSS) (Gafurov et al., 2021).

Для фитоиндикации оползневой активности склонов часто используются индикаторные особенности различных видов растений, их флористические, экологические, фитоценотические, биоморфологические и другие характеристики (Турманина, 1964а,б; Викторov, 1988; Guida et al., 2008; Ермохина, 2009; Кожевникова и др., 2010). Экосистемные и популяционные характеристики растительного покрова, особенно состав и структура фитоценозов по элементам склона, отражают их положение в сукцессионном ряду сообществ, которое, по нашим предположениям, зависит от возраста оползня, подвижности либо устойчивости его морфологических элементов (Fardeeva et al., 2018; Котова, 2020).

Цель работы: оценить состояние и продуктивность популяций лесообразующих видов деревьев в склоновых лесах, подверженных экзогенным процессам.

Материалы и методы исследования

Куйбышевское водохранилище расположено в центральной части бассейна Средней Волги на пересечении лесной и лесостепной ландшафтных зон Приволжской возвышенности. Нормальный подпорный уровень водохранилища – 53 абс. м. Годовая амплитуда колебаний уровня составляет около 6 м, что оказывает существенное влияние на активизацию экзогенных процессов на склонах и трансформацию фитоценозов по берегам Волги и Камы (Yermolaev et al., 2021). Абсолютные высоты – 175–215 м на севере и 250–270 м на юге.

Территория исследований относится к Приволжскому возвышенно-равнинному региону широколиственных лесов (Бакин и др., 2000). На

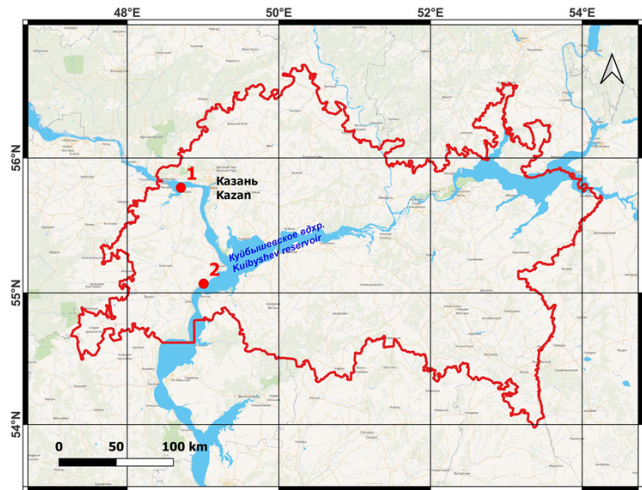


Рис. 1. Местоположение исследуемых участков
Fig. 1. Location of the studying sites

данной территории развиты верхнечетвертичные и современные оползни. Среди современных оползней часть их относится к категории старых, стабильных, некоторые являются действующими. Верхнечетвертичные оползни представляют собой средней величины блоки, мощностью до 30 м, состоящие из раздробленных глин и мергелей с прослоями известняков. В рельефе они образуют достаточно выраженные оползневые ступени. В настоящее время в теле древних оползней на отдельных участках, в зоне выклинивания подземных вод и на оползневых откосах, развиваются современные оползни и овраги. Причинами возникновения экзогенных процессов следует считать увлажнение татарских глинисто-мергелистых пород подземными, дождевыми и талыми водами, как выпадающими на склоне, так и стекающими по нему, и подъем уровня Куйбышевского водохранилища в весенний период (Дедков, 1970).

Сбор полевых материалов проводился на правом берегу р. Волги, на территории Верхнеуслонского и Камско-Устьинского районов Республики Татарстан: участок 1 – территория ООПТ «Зоостанция КГУ – Массив Дачный»; участок 2 – в 5.5 км к юго-западу от с. Сюкеево, где активно протекают оползневые процессы (рис. 1).

Участок 1 представляет стабильный оползень скольжения и проседания, покрытый лесом. Высоты здесь варьируют от уреза водохранилища (53 м) до 180–190 м на коренном склоне. Крутизна склонов превышает 45 градусов, что в целом характерно для этого участка правобережья. На данной территории расположены биостанция «Эколог» (1-я ступень, внутриоползневой откос) и «Зоологическая биостанция» (внутриоползневой откос, 3-я ступень), где частично скашиваются луга, вырубается подрост, отмечается рекреа-



Рис. 2. Схема расположения профилей на участке 1

Fig. 2. Profiles at the 1st site

ционная нагрузка. После консервации биостанции «Эколог» начался процесс лесовосстановления – здесь формируются вторично-производные березняки. На участке исследования находятся три оврага, где активны эрозионные процессы.

Исследования проводились в 2008–2009 гг., 2011–2012 гг., 2019–2022 гг. на четырех профилях (рис. 2, 3). В 2018–2019 гг. на коренном склоне была проведена сплошная рубка леса и санитарная – на оставшейся опушке (рис. 3), что увеличило риски активности эрозионных и оползневых процессов на данной территории.

Участок 2 интересен тем, что здесь находится временно-стабильный оползневой склон (скольжения, проседания), где оползание произошло в 1972–1974 гг. (профиль 5, рис. 4, 5) и для закрепления коренного склона была произведена посадка сосны с дубом. Относительно свежий оползень выдавливания и проседания возник в 2001 г. (профиль 6), где на коренном склоне сохранился дубово-липовый лес. Склон активный, дальнейшее смещение оползневых масс происходило в 2003, 2005 и 2016 гг., исследования проводились в 2018–2021 гг. Абсолютные высоты достигают 190 м на коренном склоне, крутизна склонов на откосе оползня превышает 35–45 градусов.

Предполагалось, что на основе дендрологического анализа возраста *Pinus sylvestris* L. на коренном склоне, бровке и надоползневом откосе (профили 1–3, 5) можно будет датировать возраст оползневой склона. По результатам дендрологи-

ческого анализа *P. sylvestris* в склоновых лесах ООПТ «Зоостанция КГУ – Массив Дачный» возраст сосен оценивается в 120–140 лет, в посадке сосны на профиле 5 – в 48 лет (Фардеева и др., 2019). Возраст современного оползня (профиль 6) определен на основе космических снимков – 20 лет (1999–2016) (рис. 4).

Основными лесообразующими видами условно-коренных сообществ Предволжья являются: *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Hubs., *U. laevis* Pall., редко содоминантами могут быть *Pinus sylvestris* L., *Populus nigra* L., *P. tremula* L., *Betula pendula* Roth. Дубовые фитоценозы правобережья р. Волги разнообразны на видовом и экосистемном уровнях, устойчивы и имеют хорошие показатели роста и развития – к 44–65-летнему возрасту накапливают значительный объем сырорастающей стволовой древесины (Ульданова, Сабиров, 2021). Коренные сообщества по склонам северных и восточных экспозиций представлены дубравами с липой и доминированием в травостое *Aegopodium podagraria* L., *Mercurialis perennis* L., *Asarum europaeum* L., *Galium odorata* (L.) Scop., *Carex pilosa* Scop., по склонам южных или западных экспозиций отмечаются дубравы с кленом и липой с *Laser trilobum* (L.) Borkh., *Convallaria majalis* L.

На склоне выделяли геоморфологические элементы оползня: коренной (первичный) склон, бровка надоползневого откоса, надоползневой откос, оползневые ступени, внутриоползневые откосы, оползневые бугры по Е.П. Емельяновой (1972). В фитоценозах оползневых элементов проводились геоботанические описания (Воронов, 1973). Внутри каждого элемента закладывалась учетная площадь 200–400 м². Все деревья картировались на площадке с учетом высоты, диаметра ствола по онтогенетическим группам. Высота ствола, как признак конкурентоспособности за свет (Laughlin, 2013), и площадь поперечного сечения стволов, запас стволовой древесины, отражающие продуктивность, являются функциональными признаками деревьев. Объем древеси-



Рис. 3. Участок 1 на разновременных снимках Google Earth

Fig. 3. The 1st site on multi-temporal images presented in the Google Earth



Рис. 4. Схема расположения профилей на участке 2
Fig. 4. Profiles at the 2nd site

ны определялся по формуле Губера $V=G \times L$, где L – длина ствола, G – площадь поперечного сечения ствола (Тишин, 2011; Тишин и др., 2021). Запас древесины определенных видов деревьев определялся как сумма объемов древесины на 100 м². Для оценки функционального разнообразия деревьев учитывали формулу древостоя и видовой состав подроста. Данные заносились в базу для оценки численности, возрастной структуры, динамики и состояния популяций лесообразующих видов деревьев на склоне.

Функциональное разнообразие фанерофитов в фитоценозах разных элементов оползня подразделили на 3 группы: деревья 1-й величины 15–30 м (перечисленные выше) – мезофанерофиты; деревья 2-й величины 5–10 м – *Malus sylvestris* Mill., *Sorbus aucuparia* L., *Padus avium* Mill., *Salix caprea* L. – микрофанерофиты; кустарники – *Corylus avellana* L., *Lonicera xylosteum* L., *Euonymus verrucosa* Scop., *Viburnum opulus* L., *Cerasus fruticosa* Pall., *Rubus caesius* L. – нанофанерофиты. Для оценки сходства или различия видового состава фитоценозов оползневых элементов каждого профиля использовался коэффици-

ент общности Серенсена-Чекановского (КОСЧ), учитывающий факт присутствия того или иного вида в изучаемых фитоценозах. Значение КОСЧ изменяется от 0 до 1, чем оно больше, тем более идентичны флоры. Для наших задач важно, как будет изменяться коэффициент общности между сообществом фанерофитов коренного склона и отдельными фитоценозами оползневых элементов в случае, когда само сообщество коренного склона не подвергается сильным изменениям. Значительное различие КОСЧ между элементами оползня говорит о существенных различиях условий биотопов.

Результаты и их обсуждение

Сукцессия фитоценозов и разнообразие фанерофитов на склонах

Фитоценологические исследования сообществ, посвященные изучению звеньев сукцессионных рядов растительности, которая развивается после завершения экзогенных воздействий, позволяют выявить разнообразие дигрессивно-демутационных процессов, идущих в фитоценозах по элементам оползня в зависимости от разных факто-



Рис. 5. Участок 2 на годовых композитах снимков Landsat 1999–2016 гг.
Fig. 5. The 2nd site on annual composites of Landsat images 1999–2016.

ров. Сукцессионную динамику растительности склонов можно проследить в сравнении активных оползней с условно-стабильными (табл. 1), где уже начались или заканчиваются процессы восстановления сообществ, близких по своему составу и структуре к фитоценозам коренного склона.

Индикаторами дигрессивно-демутационных процессов являются эколого-динамические ряды растительности, которые выделяются в условиях экзогенных воздействий (Турманина, 1963, 1964а,б; Корженевский, 1987; Виктор, 1988; Ермохина, 2009). По данным В.И. Турманиной (1964а,б), изучившей более 100 оползневых склонов в Москве и Московской области, о давности завершения оползневого цикла можно судить

по характеру звеньев сукцессионных серий: 1. Мать-и-мачеха и некоторые другие виды трав иногда создают сомкнутый покров на второй-третий год; 2. Через 10–15 лет на обнажении появляется подрост сосен, берез или ив, если обнажение сформировалось на месте лесов, к 50–60 годам эти деревья образуют сомкнутые насаждения; 3. Коренные типы лесных насаждений (ельники, дубравы и др.) восстанавливаются лишь к 100 годам, а нередко значительно позднее.

Время зарастания оползневых элементов склона зависит от сохранности или поступления зачатков с ближайших фитоценозов и различных абиотических факторов, которые были выявлены нами по типу развития фитоценозов на изученных склонах (табл. 1). На осыпающихся участках – на-

Таблица 1. Сукцессионная динамика лесных фитоценозов на оползневых участках
Table 1. Successional dynamics of forest phytocenoses in landslide areas

Элемент оползня Landslide element	Устойчиво-стабильный оползень Профиль 1 Возраст более 100 лет Steady-stable landslide Profile 1 Age over 100 years	Временно-стабильный оползень Профиль 5 Возраст около 50 лет Temporarily stable landslide Profile 5 Age around 50 years	Активный оползень Профиль 6 Возраст около 20 лет Active landslide Profile 6 Age around 20 years
Коренной склон Original slope	Дубняк с сосной и липой снытьево-пролесниковый 4ДЗСЗЛ+К; осв. 0.7; ПП 100%	Сосняк с дубом злаково- разнотравный (посадка 1972 г.), 8С2Д; осв. 0.4; ПП 100%	Дубняк с липой и кленом копытнево-снытьевый 4Д4Л2К+В; осв. 0.7; ПП 80%
Бровка склона Crown	Липняк с кленом и сосной ландышево-снытьевый 5Л2С1Д2К; осв. 0.7; ПП 80%	Сосняк с дубом разнотравный (посадка) 8С2Д; осв. 0.4; ПП 80%; по кромке склона отмечаются трещины	Липняк с кленом и дубом снытьево-ландышевый 6Л2Д2К; осв.0.5; ПП 60%; отмечаются трещины и ложбины
Надоползневой откос Main scarp	Демутация: липняк с кленом и дубом копытнево-снытьевый 5Л2Д2К1С+Ос; осв. 0.6; ПП 80%	Первичная сукцессия: редколесье кустарниково-разнотравное с подростом сосны, клена, вишни степной осв. 0.3; ПП 30%; отмечено осыпание склона	Первичная сукцессия: участками разрастается мать-и-мачеха осв. 100%; ПП 5%; отмечено осыпание склона
1-я ступень 1 st stage	Демутация: липняк с дубом волосистоосоково-снытьевый 5ЛЗК1Д+С+В; осв. 0.7; ПП 100%; выровненный участок	Демутация: кленовик с липой и дубом снытьево-разнотравный 7К2Л1Д; осв. 0.5; ПП 50%; бугристо-ложбинный участок	Дигрессия: кустарниковое раз- нотравье с <i>Rubus caesius</i> , редкий подрост <i>P. sylvestris</i> (2-3 года), мать-и-мачеха, клевер ПП 30%; бугристо-трещиноватый участок с выходом грунтовых вод
Внутриоползневой откос между 1-й и 2-й ступенями Intralandslide slope between the 1 st and 2 nd stages	Дигрессия: злаково-разнотравный луг с редколесьем <i>B. pendula</i> ПП 120%; отмечены рубка деревьев, покос травы, рекреация	Плохо выделяемый элемент	Плохо выделяемый элемент
2-я ступень 2 nd stage	Демутация: липняк с кленом и березой осоково-снытьевый 6Л2К2Б1Д, осв. 0.7; ПП 80%; выровненный участок	Демутация: липняк с дубом и кле- ном снытьево-ландышевый 6Л2Д2К+В, осв. 0.7; ПП 70%; выровненный участок	Демутация: молодой дубняк (около 40 лет) разнотравный 6Д+4Ив (<i>S. caprea</i>); осв.0.5; ПП 80%; бугристо-трещиноватый участок
Внутриоползневой откос между 2-й и 3-й ступенями Intralandslide slope be- tween 2 nd and 3 rd stages	Демутация: липняк копытнево-снытьевый 9Л1К+Д, осв. 0.6; ПП 60%	Дигрессия: кустарниковое разнотравье с вишней степной и мать-и-мачехой, осв. 0.1; ПП 20%; отмечена осыпь	Нет элемента
3-я ступень 3 rd stage	Дачные участки	Заболоченное редколесье с ивой козьей и тополем черным тростниково-осоковое	Нет элемента

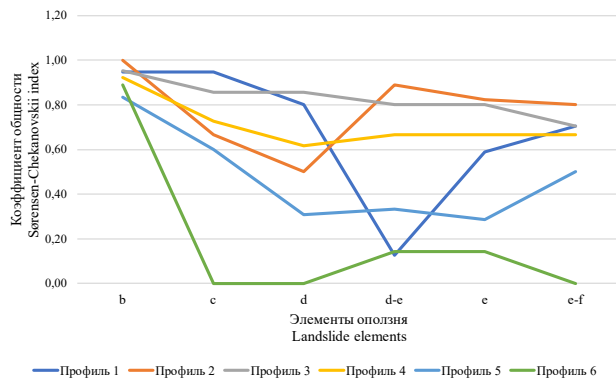


Рис. 6. Динамика коэффициента общности фанерофитов на профилях 1–6:

b – бровка, c – надоползневой откос; d – 1-я ступень, d-e – внутриоползневой откос между 1-й и 2-й ступенями, e – 2-я ступень, e-f – внутриоползневой откос между 2-й и 3-й ступенями.

Fig. 6. Dynamics of Sørensen-Chekanovskii index of phanerophytes on profiles 1–6:

b – crown, c – main scarp; d – 1st stage, d-e – intralandslide slope between the 1st and 2nd stages, e – 2nd stage, e-f – intralandslide slope between the 2nd and 3rd stages

доползневых и внутриоползневых откосах (профили 5, 6) разрастается рудерально-разнотравная растительность (*Tussilago farfara* L., *Lactuca tatarica* (L.) C.A. Mey., реже *Artemisia absinthium* L., *A. vulgaris* L., *Trifolium pratense* L., *T. medium* L.), проективное покрытие 5–10%. На более устойчивых элементах оползня – ступенях, если отмечаются трещины и выходы грунтовых вод (профили 5, 6), формируется редколесье, в отсутствие нарушения грунта (профили 1, 5) отмечаются процессы лесовосстановления и формирования длительно-производных липняков с участием клена и дуба или кленовников с липой.

Сопоставление коэффициентов общности (КОСЧ) состава фанерофитов в фитоценозах элементов оползня с коренным склоном, рассматриваемым нами как эталонный фитоценоз, представлено на рисунке 6. КОСЧ временно-стабильного склона (профиль 5) варьирует от 0.83 для пары «коренной склон – бровка» до 0.29 для пары «коренной склон – 2 ступень».

КОСЧ активного склона (профиль 6) варьирует от 0.89 для пары «коренной склон – бровка» до 0 для пар «коренной склон – надоползневой откос», «коренной склон – 1 ступень», «коренной склон – внутриоползневой откос между 1 и 2 ступенями». Низкий уровень общности состава фанерофитов прямо указывает на кардинальные отличия сообществ разрушенных местообитаний от биотопа коренного склона. Отсутствие общих видов в выборке может говорить о значительном воздействии подвижек оползня на смену условий местообитаний и видовой состав фитоценозов и

фанерофитов.

КОСЧ устойчивых склонов (профили 1–4) для пары «коренной склон – бровка» варьирует от 0.9 до 1, где описания проводились еще до начала сплошной рубки леса коренного участка в 2018 г. Наиболее сглаженная динамика коэффициента общности фанерофитов (от 0.98 до 0.76) в фитоценозах разных элементов оползня отмечена на профиле 3, где отсутствует какое-либо воздействие.

Наименьшие показатели КОСЧ 0.54 отмечаются для пары «коренной склон – 1 ступень» (2 профиль), 0.36 – для пары «коренной склон – внутриоползневой откос между 1 и 2 ступенями» (1 профиль): это участки биостанции «Эколог», где находятся дороги, тропинки, покосы, происходит вырубка подроста деревьев и рекреация. Различия довольно существенны, но при этом в выборках присутствуют общие виды деревьев, что может указывать на начало лесовосстановления.

Динамика состава и структуры популяций деревьев

Особенности динамики численности и возрастной структуры лесообразующих видов деревьев в фитоценозах оползневых склонов также отражают степень устойчивости/активности изучаемых участков. Возрастные спектры разных видов деревьев представлены на примере их популяций в условиях стабильно-устойчивого, временно-стабильного и активного склонов (рис. 7–10). По оставшейся кромке леса коренного склона (профиль 1), где была частично проведена санитарная рубка деревьев, в 2021 г. заложили новую учетную площадку.

Эдификатором условно-коренных широколиственных лесов Предволжья является *Q. robur*. Популяции дуба черешчатого, которые сохранились на участках коренного склона и бровки (рис. 6, профиль 1), характерны для всех четырех профилей ООПТ «Зоостанция КГУ – Массив Дачный». Возрастная структура *Q. robur* – полночленная только по оставшимся фрагментам дубрав коренного склона, здесь наряду с генеративными дубами отмечаются имматурные и виргинильные растения (рис. 6). Возрастная структура популяции *P. sylvestris* – неполночленная, представлена только генеративными соснами. Подрост *P. sylvestris* и *Q. robur*, как самых светолюбивых деревьев, не возобновляется в нижней части склона в условиях сильного затенения длительно-производных липняков с кленом. В целом полночленная структура популяций деревьев является признаком ее устойчивого состояния в пространстве и времени и соответственно индикаторным признаком устойчивого состояния леса.

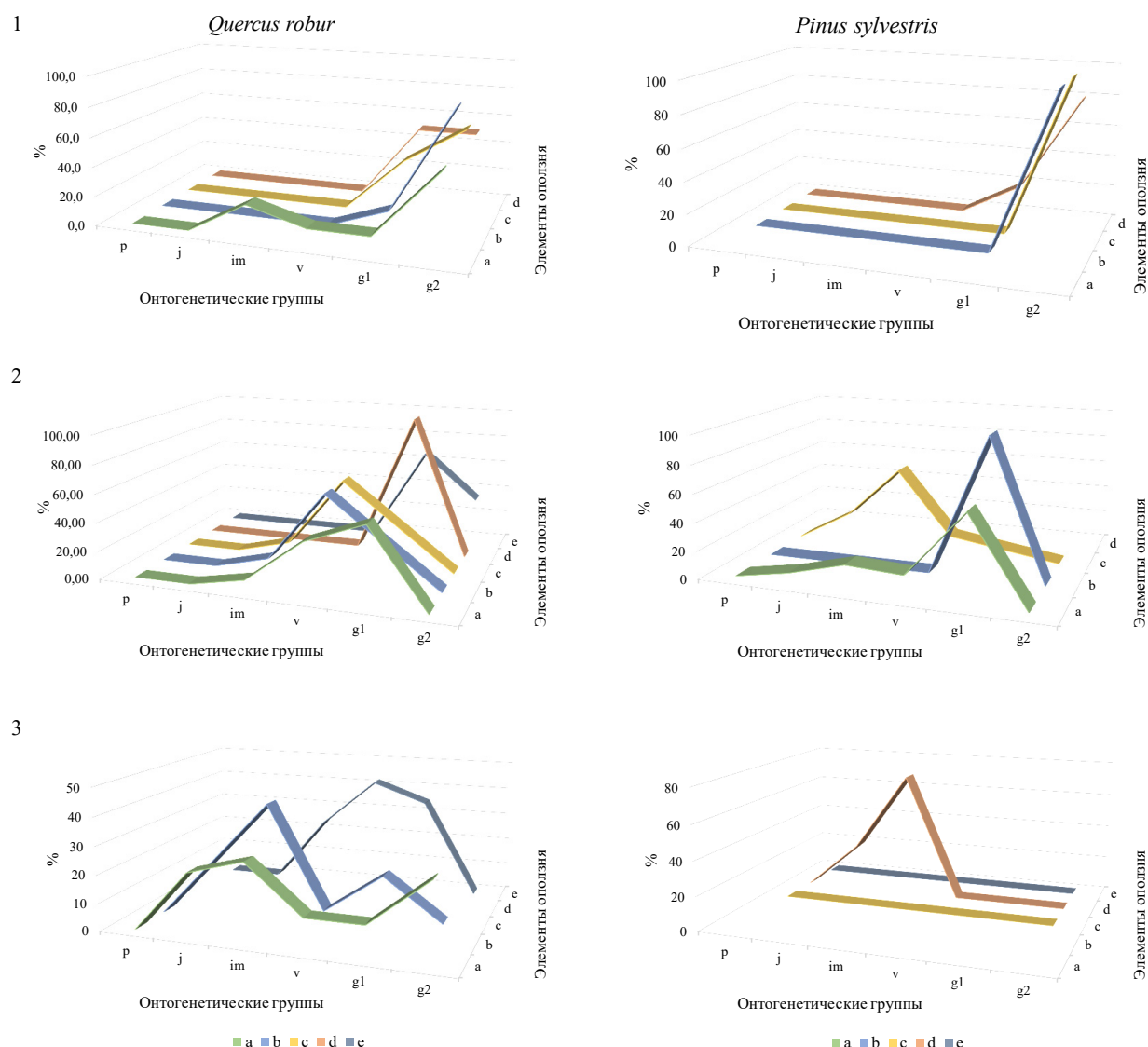


Рис. 7. Возрастные спектры *Quercus robur* и *Pinus sylvestris* на разных участках:
1 – устойчиво-стабильный склон (профиль 1), 2 – временно-стабильный (профиль 5),
3 – активный (профиль 6)

a – коренной склон, *b* – бровка, *c* – надоползневой откос; *d* – 1-я ступень, *e* – 2-я ступень; *p* – проростки, *j* – ювенильные, *im* – имматурные, *v* – виргинильные, *g1* – молодые и *g2* – средневозрастные генеративные.

Fig. 7. Age spectra *Quercus robur* and *Pinus sylvestris* on different profiles:

1 – steady-stable slope (profile 1); 2 – temporarily stable (profile 5); 3 – active (profile 6)
a – original slope, *b* – crown, *c* – main scarp; *d* – 1st stage, *e* – 2nd stage; *p* – seedling, *j* – juvenile, *im* – immature, *v* – virginile, *g1* – young and *g2* – middle-aged generative

Подобная полночленная структура популяции *Q. robur* характерна и для коренного участка в Камско-Устьинском районе (рис. 7, профиль 6), по оставшимся здесь фрагментам коренных дубрав можно представить, какие участки леса погибли при оползневых процессах на участке временно-стабильного склона в 1970-х годах, что, по-видимому, было обусловлено интенсивной распашкой земель (рис. 3, 4). На активном оползне отмечено формирование редколесья дуба на 2-й ступени, в популяции единично встречаются молодые генеративные дубы (рис. 7, профиль 6). В светлой посадке сосны с дубом (рис. 7, профиль 5) наряду с молодыми генеративными дубами вы-

сотой 7–8 м, возобновление дуба хорошее, интенсивно разрастается подрост.

По элементам оползневых склонов (профили 1–4, 5), в длительно-производных липняках *Q. robur* (рис. 7, откосы, 1-я и 2-я ступени) и *Pinus sylvestris* (рис. 6, профиль 1) отмечаются единичными генеративными особями. Имматурные (5–6 лет) и виргинильные (8–12 лет) *P. sylvestris* разрастаются по надоползневому откосу временно-стабильного оползня (рис. 6, профиль 5), что способствует некоторому закреплению этих участков. На активном оползне ювенильные (2–3 года) сосны единично отмечены на 1-й ступени в 2021 г.

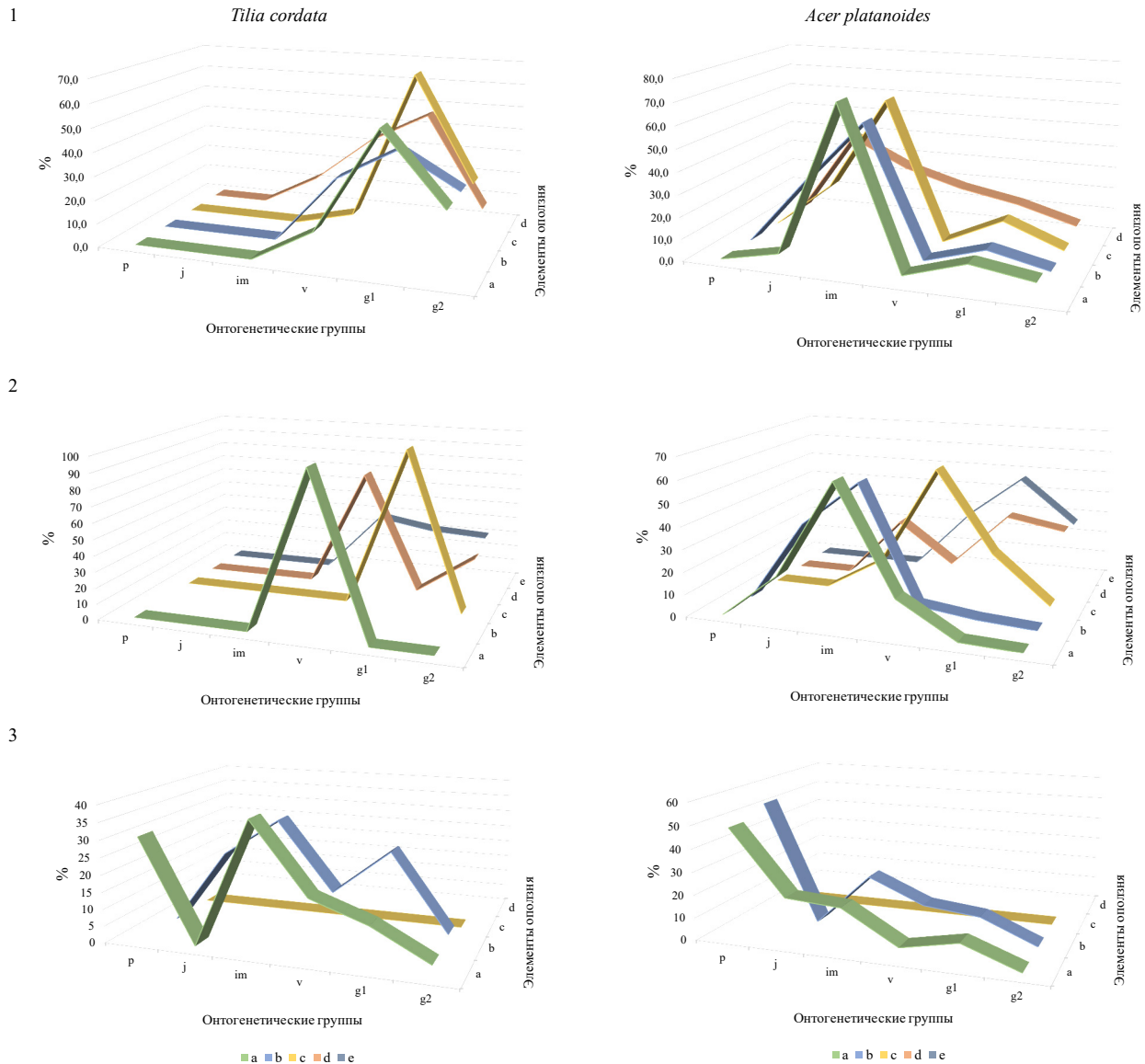


Рис. 8. Возрастные спектры *Tilia cordata* и *Acer platanoides* на разных участках: 1 – устойчиво-стабильный склон (профиль 1), 2 – временно-стабильный (профиль 5), 3 – активный (профиль 6) a – коренной склон, b – бровка, c – надоползневой откос; d – 1-я ступень, e – 2-я ступень; p – проростки, j – ювенильные, im – имматурные, v – виргинильные, g1 – молодые и g2 – средневозрастные генеративные

Fig. 8. Age spectra *Tilia cordata* and *Acer platanoides* on different profiles:

1 – steady-stable slope (profile 1), 2 – temporarily stable (profile 5), 3 – active (profile 6) a – original slope, b – crown, c – main scarp; d – 1st stage, e – 2nd stage; p – seedling, j – juvenile, im – immature, v – virginile, g1 – young and g2 – middle-aged generative

По результатам популяционного анализа выявлено, что полноценная возрастная структура с хорошим подростом отмечается только у *T. cordata* и *A. platanoides* во всех лесах по элементам устойчивого склона на ООПТ «Зоостанция КГУ – Массив Дачный» (рис. 8). На профиле 6 активного оползневого склона полноценные популяции *T. cordata* и *A. platanoides* отмечены на сохранившемся коренном склоне и бровке, где эти виды формируют второй древесный ярус. На временно-стабильном склоне (профиль 5) условно-коренных сообществ не сохранилось. *A. platanoides* представлен в посадке сосны с дубом

разрастающимся подростом из проростков, ювенильных, имматурных и виргинильных особей, подрост липы отмечен единично. На более пологих участках – 1-й и 2-й ступенях временно-стабильного склона – полноценные популяции *T. cordata* и *A. platanoides* способствует закреплению склона и демутации лесных фитоценозов. В длительно-производных липняках также встречаются *Ulmus glabra* или *U. laevis*, единично *P. nigra* и *P. tremula*. Разрастается подлесок из *Sorbus aucuparia*, *Padus avium*, *Salix caprea*, *Corylus avellana*, *Lonicera xylosteum*, *Euonymus verrucosa*, *Viburnum opulus*.

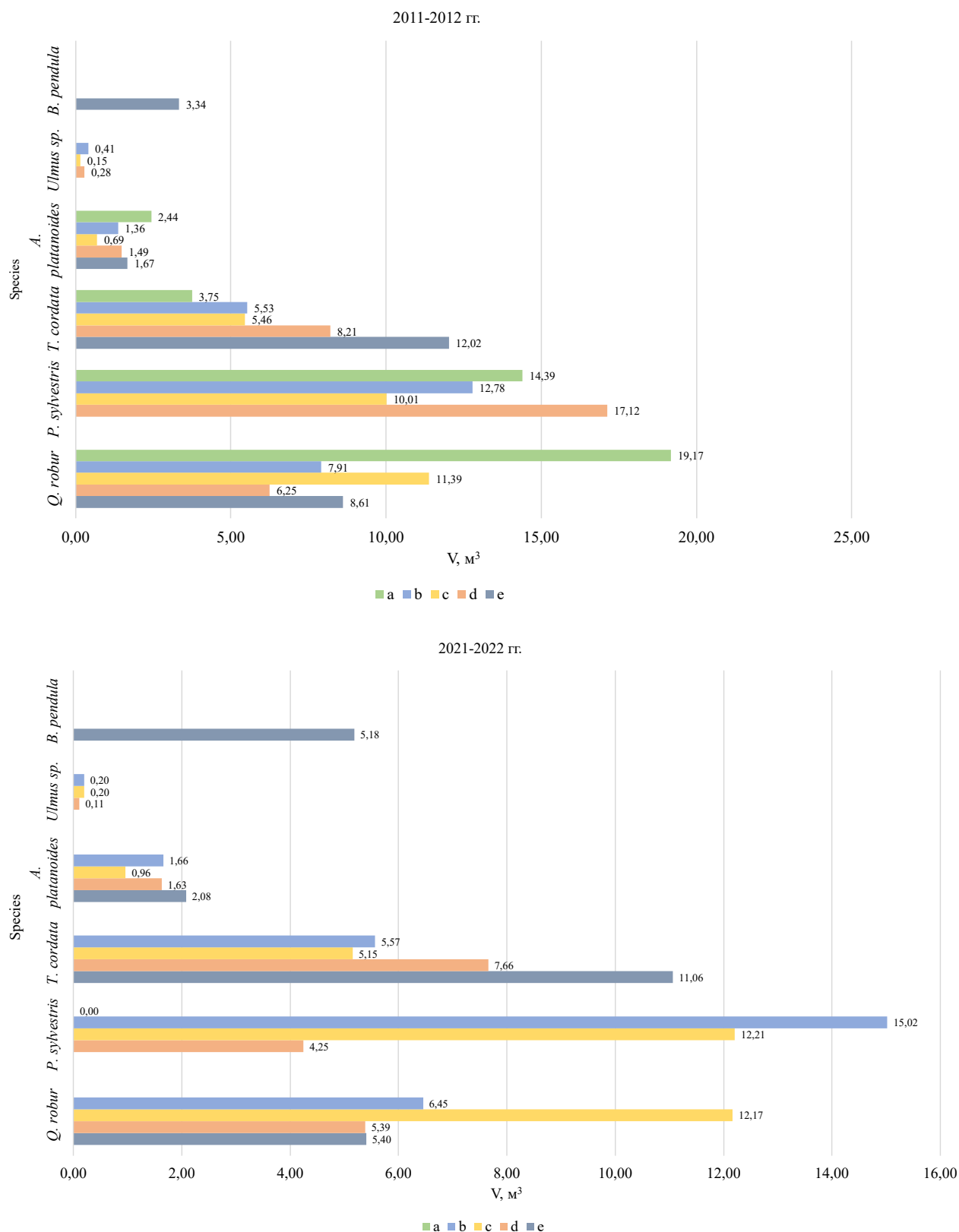


Рис. 9. Запасы древесины на 100 м² (участок 1, профиль 1) в 2011–2012 гг. и 2021–2022 гг.:

a – коренной склон, b – бровка, c – надоползневой откос; d – 1-я ступень, e – 2-я ступень

Fig. 9. Wood volumes on 100 m² by landslide elements (site 1, profile 1) in 2011–2012 and 2021–2022:

a – original slope, b – crown, c – main scarp; d – 1st stage, e – 2nd stage

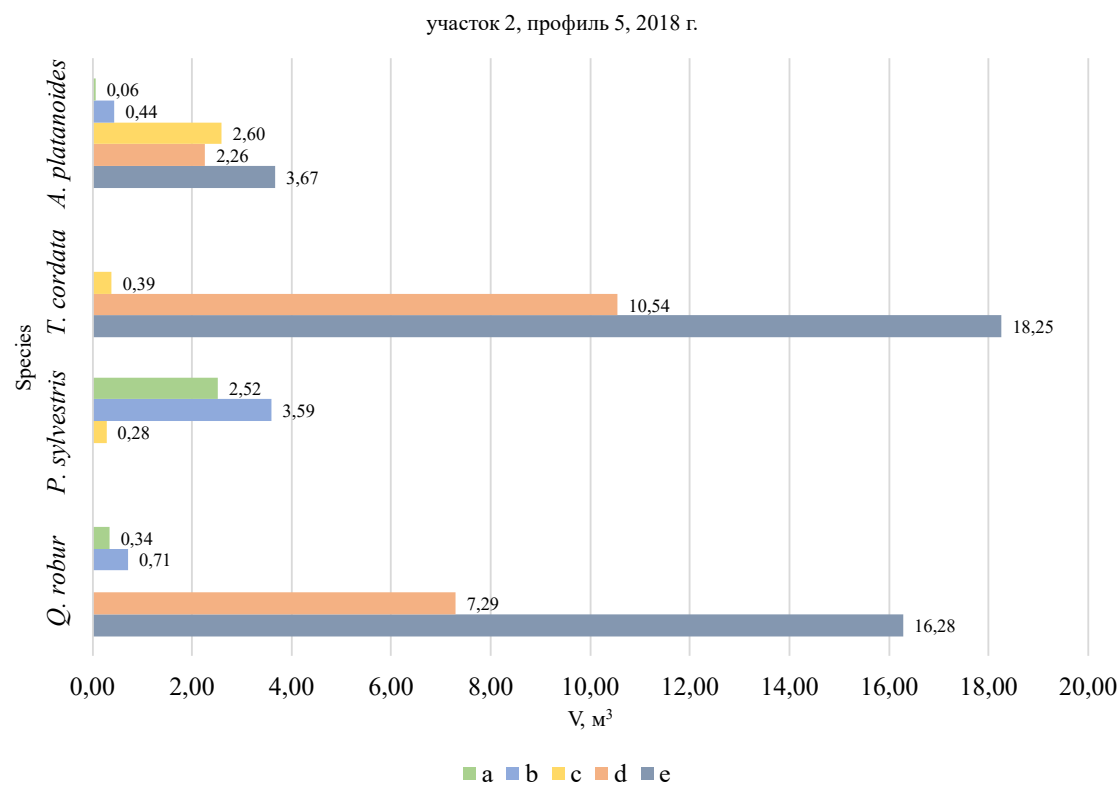
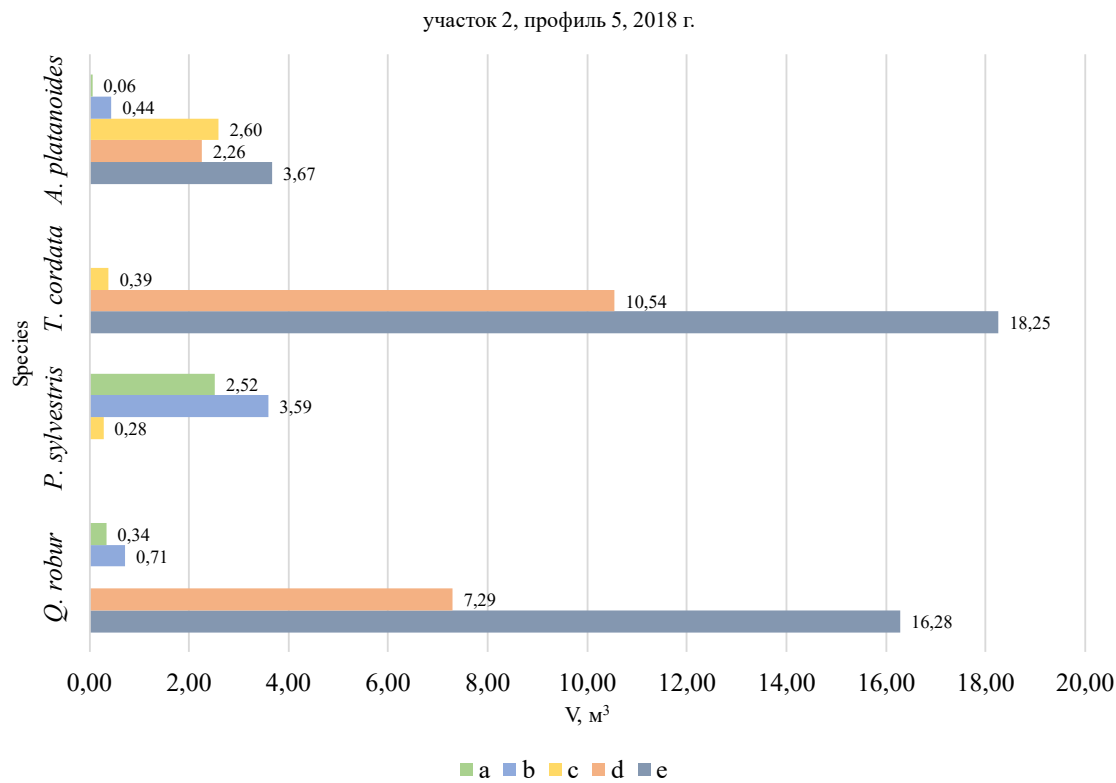


Рис. 10. Запасы древесины на временно-стабильном склоне (участок 2, профиль 5) в 2018 г. и на активном склоне (участок 2, профиль 6) в 2021 г.:

a – коренной склон, b – бровка, c – надоползневой откос; d – 1-я ступень, e – 2-я ступень

Fig. 10. Wood volumes on 100m² by landslide elements of temporarily stable landslide (site 2, profile 5) in 2018 and active landslide (site 2, profile 6) in 2021:

a – original slope, b – crown, c – main scarp; d – 1st stage, e – 2nd stage

Продуктивность лесообразующих деревьев в склоновых лесах

Площади поперечного сечения разных видов деревьев, как и объемы древесины, отображают продуктивность лесного сообщества и стадии лесовосстановления фитоценозов по элементам оползня. Наибольшие средние площади поперечного сечения генеративных *Q. robur* отмечаются на коренном участке леса и бровке склонов: на профиле 1 средняя площадь поперечного сечения дуба составляет 0.38 м², средняя высота ствола 23.5 м, на профиле 6 – 0.24 м², средняя высота 20.2 м, на временно-стабильном склоне (профиль 5) – 0.032 м², т.к. средний диаметр молодых деревьев только 0.1–0.12 м, средняя высота – 7.8 м. В редколесье дуба, на 2-й ступени активного оползня, площади поперечного сечения составляют 0.04 м². Площади поперечного сечения использовались для оценки объемов древесины лесообразующих видов деревьев и запасов древесины в пересчете на 100 м² леса в фитоценозах элементов оползней (рис. 9–10).

Динамика запасов древесины разных видов деревьев отражает продуктивность лесных сообществ и процессы лесовосстановления в условиях экзогенных процессов. По данным 2021 г., после сплошной рубки, запасы древесины в центральной части коренного склона на территории ООПТ резко сократились (рис. 9, профиль 1). В посадке сосны (рис. 10, профиль 5) запасы древесины *Q. robur* и *P. sylvestris* незначительны, возраст деревьев около 50 лет. Напротив, в условиях стабильных (рис. 10) элементов склона (1–2 ступени) запасы древесины *Q. robur*, *T. cordata* и *A. platanoides* значительны и сопоставимы с подобными характеристиками на устойчивом склоне (рис. 9, профиль 1), что указывает на хорошее состояние лесных сообществ и закрепление склона.

На активном оползневом склоне (рис. 10, профиль 6) значительные запасы древесины *Q. robur* и *T. cordata* сохранились только на коренном склоне и бровке и сопоставимы с подобными характеристиками условно-коренных дубрав на ООПТ «Зоостанция КГУ – Массив Дачный». Резкое снижение запасов древесины деревьев ниже по склону отражает последствия потерь продуктивных лесов в результате оползнево-осыпных процессов.

Заключение

Введение в широкую практику методов фитоиндикации могло бы стать одним из решений, позволяющим оптимизировать проведение мониторинга оползневых процессов. Однако, скорость

формирования фитоценоза зависит от условий субстрата, возможностей поступления зачатков с окружающих пространств, а также от крутизны, экспозиции склона и антропогенных воздействий.

По величине коэффициента общности Серенсена-Чекановского можно судить о начале процессов лесовосстановления, что подтверждается высокими их показателями на стабильных элементах оползня или в целом устойчивых склонах. Напротив, активно продолжающиеся оползнево-осыпные процессы в верхней части склона (профили 5–6) препятствуют формированию даже сорно-полевой растительности, разрастаются только *T. farfara*, *L. tatarica* и *R. caesius*, представленные длиннокорневищными и корнеотпрысковыми вегетативно-подвижными биоморфами, быстро закрепляющимися в субстрате. Появление 2-3-летнего подроста *P. sylvestris* по кромке склона (профиль 6) в 2021 г. указывает на закрепление диаспор деревьев на 1-й ступени и, возможно, 1-й стадии лесовосстановления.

Динамика популяций лесообразующих видов деревьев и их продуктивность по элементам склона отражает степень нарушения или восстановления леса, что актуально для закрепления берегов р. Волги и сохранения здесь естественной растительности. Отсутствие восстановления леса по оползневым элементам в течение 10–20 лет является интегральным показателем активно продолжающихся оползневых процессов.

Условно-коренные дубравы отличаются многоярусной структурой, где четко выделяются 1-й и 2-й древесные ярусы (A_1 , A_2), ярус подроста и подлеска также представлен двумя ярусами (B_1 , B_2). Лесовосстановление в нижней части склонов (профили 1–4, 5) происходит за счет активного зарастания ступеней вегетативно подвижными видами – *T. cordata*, *S. caprea* и быстрорастущими деревьями – *A. platanoides*, *B. pendula*, *P. tremula*. Для *A. platanoides* и *T. cordata* заметно хорошее развитие молодых генеративных особей по элементам оползня, что увеличивает продуктивность фитоценозов на определенных стадиях лесовосстановления. Восстановление широколиственных лесов по элементам оползня устойчивого и временно-стабильного склонов идет за счет формирования длительно-производных липняков. Но в отличие от условно-коренных дубрав, ярусная структура липняков представлена только одним древесным ярусом, что снижает густоту древостоя и его продуктивность. На оползневых элементах значительно снижается численность *Q. robur* и нарушается структура его популяций. При отсутствии антропогенных воздействий на коренной склон и дополнительном

укреплении склонов искусственными посадками сохраняется надежда на лесовосстановительные процессы, сохранение лесных сообществ и частичное закрепление склонов берегов Куйбышевского водохранилища.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030)».

Список литературы

1. Бакин О.В., Рогова Т.В., Ситников А.П. Сосудистые растения Татарстана. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2000. 497 с.
2. Викторов С.В., Ремезова Г.Л. Индикационная геоботаника. М.: Изд-во Московского ун-та, 1988. 168 с.
3. Воронов А.Г. Геоботаника. М: Высшая школа, 1973. 384 с.
4. Дедков А.П. Экзогенное рельефообразование в Казанско-Ульяновском Приволжье. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1970. 457 с.
5. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. М: Недра, 1972. 308 с.
6. Ермохина К.А. Фитоиндикация экзогенных процессов в тундрах Центрального Ямала: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2009. 25 с.
7. Кожевникова М.В., Муглиев Б.И., Фардеева М.Б. Фитоиндикация оползневых смещений при мониторинге экзогенных процессов // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2010. №2. С. 171–177.
8. Корженевский В.В. Методические рекомендации по фитоиндикации современных экзогенных процессов. Ялта: ГНБС. 1987. 41 с.
9. Котова Н.А., Фардеева М.Б. Использование дендрологического анализа *Pinus sylvestris* L. в условиях активизации оползнево-осыпных процессов правобережья р. Волги // Материалы II Международной научной конференции молодых ученых. Минск: Колоград, 2020. С. 26–28.
10. Тишин Д.В. Оценка продуктивности древостоев. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2011. 31 с.
11. Тишин Д.В., Чижикина Н.А., Искандиров П.Ю., Лебедева Г.П. Радиальный прирост годичных колец сосны обыкновенной в условиях болот Марийского Полесья // Российский журнал прикладной экологии. 2021. №4. С. 20–24. doi: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2021.4.20.24>
12. Турманина В.И. Величина армирующей роли корней деревьев // Вестник МГУ. Сер. География. 1963. №4. С. 17–22.
13. Турманина В.И. Взаимодействие растительности с оползневыми процессами склонов на примере оползней Москвы и подмосковья: Автореф. дисс. ... канд. географ. наук. М., 1964а. 42 с.
14. Турманина В.И. Использование мать-и-мачехи как показателя недавней нарушенности почво-грунтов // Советская геология. 1964б. №4. С. 131–132.
15. Ульданова Р.А., Сабиров А.Т. Продуктивность дубовых насаждений прибрежных территорий реки Волги // Российский журнал прикладной экологии. 2021. №3. С. 11–22. doi: [10.24852/2411-7374.2021.3.11.22](https://doi.org/10.24852/2411-7374.2021.3.11.22).
16. Фардеева М.Б., Котова Н.А. Особенности инвентаризации ООПТ и состояние популяций редких растений в условиях оползневых склонов правобережья реки Волги // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2021. С. 89–105. doi: [10.24412/2072-8816-2021-15-2-89-105](https://doi.org/10.24412/2072-8816-2021-15-2-89-105).
17. Фардеева М.Б., Котова Н.А., Кожевникова М.В. Предварительные итоги дендргеоморфологического анализа оползневых участков с использованием *Pinus sylvestris* L. // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2019. №3. С. 130–135. doi: [10.24411/2073-1035-2019-10243](https://doi.org/10.24411/2073-1035-2019-10243).
18. Casagli N., Catani F., Del Ventisette C., Luzi G. Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry // Landslides. 2010. 7(3). P. 291–301. doi: [10.1007/s10346-010-0215-y](https://doi.org/10.1007/s10346-010-0215-y).
19. Corominas J., Westen C.J., Frattini P., Cascini L., Jean-Philippe Fotopoulou, S., Catani F., Eeckhaut M., Mavrouli, O., Agliardi F., Pitilakis K., Winter M., Pastor M., Ferlisi S., Tofani V., Hervás J., Smith J.T. // Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk // Bulletin of engineering geology and the environment. 2014. Vol. 73. P. 209–263. doi: [10.1007/s10064-013-0538-8](https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8).
20. Cruden D.M. A simple definition of a landslide // Bulletin of the International Association of Engineering geology. 1991. Vol. 43(1). P. 27–29. doi: [10.1007/BF02590167](https://doi.org/10.1007/BF02590167).
21. Fardeeva M.B., Kozhevnikova M.V., Bogdanova V.V., Kotova N.A. La aplicación práctica de diferentes métodos de fitoindicación para estimar deslizamientos de tierra // Dilemas contemporáneos: educación, política y valores. 2018. P. 67.
22. Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W.Z. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning // Engineering geology. 2008. Vol. 102. №3–4. P. 85–98. doi: [10.1016/j.enggeo.2008.03.022](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022).
23. Gafurov A., Yermolayev O., Usmanov B., Khomyakov P. Creation of high-precision digital elevation models using the GNSS UAV // InterCarto InterGIS. 2021. Vol. 27(2). P. 327–339. doi: [10.35595/2414-9179-2021-2-27-327-339](https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-2-27-327-339).
24. Guida D., Pelfini M., Santilli M. Geomorphological and dendrochronological analyses of a complex landslide in the southern Apennines // Geografiska Annaler: Ser. A, Physical geography. 2008. Vol. 90(3). P. 211–226. doi: [10.1111/j.1468-0459.2008.340.x](https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2008.340.x).
25. Kotova N.A., Fardeeva M.B., Usmanov B.M. Population dynamics of forest-forming tree species on landslide-scare slopes of the right bank of the Kuibyshev reservoir (Tatarstan) // IOP Conf. Ser.: Earth and environmental sciences. 2022. 1070(1). 012007. doi: [10.1088/1755-1315/1070/1/012007](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1070/1/012007).
26. Laughlin D. The intrinsic dimensionality of plant traits and its relevance to community assembly // Journal of ecology. 2013. Vol. 102(1). doi: [10.1111/1365-2745.12187](https://doi.org/10.1111/1365-2745.12187).
27. Nigmatullina E.F., Fardeeva M.B., Amirova R.R. Mechanism of water resource inter-industry protection // Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences. 2015. Vol. 6 (6). P. 1660–1665.
28. Petschko H., Brenning A., Bell R., Goetz J., Glade T. Assessing the quality of landslide susceptibility maps – case study Lower Austria // Natural hazards and earth system science. 2014. Vol. 14 (1). P. 95–118. doi: [10.5194/nhess-14-95-2014](https://doi.org/10.5194/nhess-14-95-2014).
29. Thiebes B., Bell R., Glade T., Jäger S., Mayer J., Anderson M., Holcombe L. Integration of a limit-equilibrium model into a landslide early warning system // Landslides. 2014. Vol. 11(5). P. 859–875. doi: [10.1007/s10346-013-0416-2](https://doi.org/10.1007/s10346-013-0416-2).
30. Van Westen C.J., Van Asch T.W.J., Soeters R. Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult? // Bulletin of engineering geology and the environment. 2006. Vol. 65(2). P. 167–184. doi: [10.1007/s10064-005-0023-0](https://doi.org/10.1007/s10064-005-0023-0).
31. Yermolaev O., Usmanov B., Gafurov A., Poesen J., Vendeneeva E., Lisetskii, F., and Nicu, I.C. Assessment of Shoreline Transformation Rates and Landslide Monitoring on the Bank of Kuibyshev Reservoir (Russia) Using Multi-Source Data // Remote sensing. 2021. Vol. 13(21). 4214. doi: [10.3390/rs13214214](https://doi.org/10.3390/rs13214214).

References

1. Bakin O.V., Rogova T.V., Sitnikov A.P. Sosudistye rasteniya Tatarstana [Vascular plants of Tatarstan]. Kazan': Kazan university, 2000. 497 p.
2. Viktorov S.V. Remezova G.L. Indikatsionnaya geobotanika [Indication Geobotany]. Moscow: Moscow University, 1988. 168 p.
3. Voronov A.G. Geobotanika [Geobotany]. Moscow: Vysshaya shkola, 1973. 384 p.
4. Dedkov A.P. Ekzogennoe rel'efoobrazovanie v Kazansko-Ulyanovskom Privolzh'e [Exogenous relief formation in the Kazan-Ulyanovsk Volga region]. Kazan': Kazan University, 1970. 457 p.
5. Emel'yanova E.P. Osnovnye zakonomernosti opolznevykh protsessov [Main regularities of landslide processes]. Moscow: Nedra, 1972. 308 p.
6. Ermokhina K.A. Fitoindikatsiya ekzogenykh protsessov v tundrach Tsentral'nogo Yamala [Phytoindication of exogenous processes in the tundras of Central Yamal]: Summary of PhD (Cand. of Geogr.). Moscow, 2009. 25 p.
7. Kozhevnikova M.V., Mugliev B.I., Fardeeva M.B. Fitoindikatsiya opolznevykh smeshchenii pri monitoringe ekzogenykh protsessov [Phytoindication of landslide displacements during monitoring of exogenous processes] // Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya [Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology]. 2010. No 2. P. 171–177.
8. Korzhenevskii V.V. Metodicheskie rekomendatsii po fitoindikatsii sovremennykh ekzogenykh protsessov [Guidelines for phytoindication of modern exogenous processes]. Yalta, 1987. 41 p.
9. Kotova N.A., Fardeeva M.B. Ispol'zovanie dendrologicheskogo analiza Pinus sylvestris L. v usloviyakh aktivizatsii opolznevo-osypnykh protsessov pravoberezh'ya r. Volgi [The use of dendrological analysis of Pinus sylvestris L. in the conditions of activation of landslide processes on the right bank of the Volga River] // Materialy II Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh [II International Scientific Conference of Young Scientists «Modern Problems of Experimental Botany». Minsk: Kolograd. 2020. P. 26–28.
10. Tishin D.V. Otsenka produktivnosti drevostoev [Evaluation of the productivity of forest stands]. Kazan': Kazan University, 2011. 31 p.
11. Tishin D.V., Chizhikova N.A., Iskandirov P.Yu., Lebedeva G.P. Radial'nyi prirost godichnykh kolets sosny obyknovЕННОЙ в usloviyakh bolot Mariiskogo Poles'ya [Radial growth of growth rings of Scotch pine in the swamps of the Mari Polesie] // Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii. [Russian Journal of Applied Ecology]. 2021. No 4. P. 20–24. doi: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2021.4.20.24>.
12. Turmanina V.I. Velichina armiruyushchei roli kornei derev'ev [The value of the reinforcing role of tree roots] // Vestnik MGU: Geografiya [Bull. of Moscow State University: Geography]. 1963. No 4. P. 17–22.
13. Turmanina V.I. Vzaimodeistvie rastitel'nosti s opolznevyimi protsessami sklonov na primere opolznei Moskvy i podmoskov'ya [Interaction of vegetation with landslide processes of slopes on the example of landslides in Moscow and the Moscow region]: Summary of PhD (Cand. of Geogr.). Moscow: 1964a. 42 p.
14. Turmanina V.I. Ispol'zovanie mat'-i-machekhi kak pokazatelya nedavnei narushennosti pochvo-gruntov [The use of coltsfoot as an indicator of recent soil disturbance] // Sovetskaya geologiya [Soviet Geology]. 1964b. No 4. P. 131–132.
15. Uldanova R.A., Sabirov A.T. Produktivnost dubovikh nasazhdenii pribreznikh territorii reki Volgi [Productivity of oak plantations in the coastal areas of the Volga River] // Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii. [Russian Journal of Applied Ecology]. 2021. No 3. P. 11–22. doi: [10.24852/2411-7374.2021.3.11.22](https://doi.org/10.24852/2411-7374.2021.3.11.22).
16. Fardeeva M.B., Kotova N.A. Osobennosti inventarizatsii OOPT i sostoyanie populyatsii redkikh rastenii v usloviyakh opolznevykh sklonov pravoberezh'ya reki Volgi [Inventory features of protected areas and the state of populations of rare plants in the conditions of landslide slopes of the right bank of the Volga River] // Fitoraznoobrazie Vostochnoi Evropy [Phytodiversity of Eastern Europe]. 2021. P. 89–105. doi: [10.24412/2072-8816-2021-15-2-89-105](https://doi.org/10.24412/2072-8816-2021-15-2-89-105).
17. Fardeeva M.B., Kotova N.A., Kozhevnikova M.V. Predvaritel'nye itogi dendrogeomorfologicheskogo analiza opolznevykh uchastkov s ispol'zovaniem Pinus sylvestris L. [Preliminary results of dendrogeomorphological analysis of landslide areas using Pinus sylvestris L.] // Samarskaya Luka: problemy regional'noi i global'noi ekologii [Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology]. 2019. No3. P. 130–135. doi: [10.24411/2073-1035-2019-10243](https://doi.org/10.24411/2073-1035-2019-10243).
18. Casagli N., Catani F., Del Ventisette C., Luzi G. Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry // Landslides. 2010. 7(3). P. 291–301. doi: [10.1007/s10346-010-0215-y](https://doi.org/10.1007/s10346-010-0215-y).
19. Corominas J., Westen C.J., Frattini P., Cascini L., Jean-Philippe Fotopoulou, S., Catani F., Eeckhaut M., Mavrouli, O., Agliardi F., Pitilakis K., Winter M., Pastor M., Ferlisi S., Tofani V., Hervás J., Smith J.T. // Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk // Bulletin of engineering geology and the environment. 2014. Vol. 73. P. 209–263. doi: [10.1007/s10064-013-0538-8](https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8).
20. Cruden D.M. A simple definition of a landslide // Bulletin of the International Association of Engineering geology. 1991. Vol. 43(1). P. 27–29. doi: [10.1007/BF02590167](https://doi.org/10.1007/BF02590167).
21. Fardeeva M.B., Kozhevnikova M.V., Bogdanova V.V., Kotova N.A. La aplicación práctica de diferentes métodos de fitoindicación para estimar deslizamientos de tierra // Dilemas contemporáneos: educación, política y valores. 2018. P. 67.
22. Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W.Z. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning // Engineering geology. 2008. Vol. 102. No3–4. P. 85–98. doi: [10.1016/j.enggeo.2008.03.022](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022).
23. Gafurov A., Yermolayev O., Usmanov B., Khomyakov P. Creation of high-precision digital elevation models using the GNSS UAV // InterCarto InterGIS. 2021. Vol. 27(2). P. 327–339. doi: [10.35595/2414-9179-2021-2-27-327-339](https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-2-27-327-339).
24. Guida D., Pelfini M., Santilli M. Geomorphological and dendrochronological analyses of a complex landslide in the southern Apennines // Geografiska Annaler: Ser. A, Physical geography. 2008. Vol. 90(3). P. 211–226. doi: [10.1111/j.1468-0459.2008.340.x](https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2008.340.x).
25. Kotova N.A., Fardeeva M.B., Usmanov B.M. Population dynamics of forest-forming tree species on landslide-scrée slopes of the right bank of the Kuibyshev reservoir (Tatarstan) // IOP Conf. Ser.: Earth and environmental sciences. 2022. 1070(1). 012007. doi: [10.1088/1755-1315/1070/1/012007](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1070/1/012007).
26. Laughlin D. The intrinsic dimensionality of plant traits and its relevance to community assembly // Journal of ecology. 2013. Vol. 102(1). doi: [10.1111/1365-2745.12187](https://doi.org/10.1111/1365-2745.12187).
27. Nigmatullina E.F., Fardeeva M.B., Amirova R.R. Mechanism of water resource inter-industry protection // Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences. 2015. Vol. 6 (6). P. 1660–1665.
28. Petschko H., Brenning A., Bell R., Goetz J., Glade T. Assessing the quality of landslide susceptibility maps – case study Lower Austria // Natural hazards and earth system science. 2014. Vol. 14 (1). P. 95–118. doi: [10.5194/nhess-14-95-2014](https://doi.org/10.5194/nhess-14-95-2014).
29. Thiebes B., Bell R., Glade T., Jäger S., Mayer J.,

Anderson M., Holcombe L. Integration of a limit-equilibrium model into a landslide early warning system // *Landslides*. 2014. Vol. 11(5). P. 859–875. doi: 10.1007/s10346-013-0416-2.

30. Van Westen C.J., Van Asch T.W.J., Soeters R. Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult? // *Bulletin of engineering geology and the environment*. 2006. Vol. 65(2). P. 167–184. doi: 10.1007/s10064-005-0023-0.

31. Yermolaev O., Usmanov B., Gafurov A., Poesen J., Vedeneva E., Lisetskii, F., and Nicu, I.C. Assessment of Shoreline Transformation Rates and Landslide Monitoring on the Bank of Kuibyshev Reservoir (Russia) Using Multi-Source Data // *Remote sensing*. 2021. Vol. 13(21). 4214. doi: 10.3390/rs13214214.

Fardeeva M.B., Kotova N.A. Specificity of dynamics of the tree populations on the landslide-scrub slopes of the Volga River right coast.

Monitoring of vegetation condition and biodiversity of flora in the slope communities of the right bank of the Volga River and the Kuibyshev reservoir allows us to assess the degree of activity and stability of the exogenous processes and prevent the risks of new ones. The paper presents the results of a study of forest communities in 2008–2022 on stable, temporarily stable, and active landslide slopes and the search for efficient phytoindication methods to assess their condition. Detection of succession groups of phytocenoses on different landslide elements allowed us to identify demutation-degressive vegetation series. They depend on the activity of landslide-scrub processes, substrate conditions, slope steepness, the possibility of rudiments entering, and the influence of anthropogenic factors. The appearance of 2-3-year-old undergrowth of trees was detected 20

years after the last exogenous process. Using the Sørensen-Chekanovskii coefficient for assessing the similarity of phanerophytes in phytocenoses of the original site and other elements of the landslide is effective. The closer its value to 1, the more intense the reforestation processes. Based on the results of assessing the dynamics of the amount and age structure of forest-forming species, it was revealed that a stable full-membered population of *Quercus robur* was found only on the original parts of the slopes. The populations of *Tilia cordata* and *Acer platanoides* have a full-membered structure on the stable elements of a landslide, forming forest communities that provide substrate fixation. Based on the trunk's height and diameter assessment of different trees, it was revealed that the multi-tiered structure was typical only for the oak forests of the original part of the slope. In the lower part of the stable or temporarily stable elements of the landslide, the multi-tiered communities are disturbed, the density of their forest stand and canopy density decrease, and the percentage of *T. cordata*, *A. platanoides*, *B. pendula*, and *P. tremula* increases. The dynamics of wood reserves of different tree species reflect the productivity of forest communities and reforestation processes under exogenous processes, which depends on the landslide age, activity, or stability of its morphological elements. The use of phytoindication methods provides effective detection of the activity and stability of the slopes of the Kuibyshev reservoir banks.

Keywords: landslide-scrub slopes; successive series of phytocenoses; tree population dynamics; productivity; banks of the Kuibyshev reservoir.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article

Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 28.03.2023

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 18.04.2023

Принята к публикации / Accepted for publication: 24.04.2023

Сведения об авторах

Фардеева Марина Борисовна, доктор биологических наук, профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, E-mail: orchis@inbox.ru.

Котова Наталия Андреевна, аспирант, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, E-mail: kotova.natalia90@gmail.com.

Information about the authors

Marina B. Fardeeva, D.Sci. in Biology, Professor, Kazan Federal University, 18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia, E-mail: orchis@inbox.ru

Nataliya A. Kotova, Graduate Student, Kazan Federal University, 18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia, E-mail: kotova.natalia90@gmail.com.

