

УДК 911.2(470.56)

А.В. Хорошев¹, Г.М. Леонова²

РЕАКЦИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УВЛАЖНЕНИЯ В ЛАНДШАФТЕ АЙТУАРСКОЙ СТЕПИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)³

Для заповедного низкогорно-степного ландшафта на Южном Урале сделан прогноз «цепной» реакции между свойствами компонентов ландшафта при гипотетическом росте увлажнения. Составление разномасштабных пространственных рядов, отличающихся по степени разнообразия факторов увлажненности, позволило определить последовательность структурных изменений в степном ландшафте.

Ключевые слова: цепная реакция, увлажнение, климатические изменения, фитоценоз, почва, структура, степной ландшафт, Южный Урал.

Введение. В ландшафтоведении давно предложен эргодический подход к прогнозу, который обычно реализовывался на примере пространственного ряда с ослабевающим влиянием какого-либо объекта (промышленного предприятия, водохранилища, болота и т.п.) в одном или нескольких направлениях [Арманд и др., 1991; Дьяконов, 1984]. При допущении изотропности ландшафта эти пространственные ряды рассматриваются как модель изменений во времени. Однако для прогнозирования будущего состояния ландшафта и планирования нагрузок необходимо учитывать, что далеко не во всех случаях есть возможность построения подобного ряда, особенно в резко анизотропной среде с высоким разнообразием факторов ландшафтной дифференциации. Неодновременность изменения свойств ландшафта при внешнем воздействии заставляет ранжировать свойства компонентов по их чувствительности к внешнему воздействию. Изменение одного компонента может постепенно подготавливать изменение другого. Тогда последовательность изменений носит неслучайный характер и может быть представлена в виде «цепной» реакции.

В литературе вопрос о сопряженном и последовательном изменении свойств компонентов исследован слабо, в основном на примерах относительно быстрых процессов изменений биоценозов и почв: после добычи полезных ископаемых [Kovar, 2004; Lukic et al., 2007], пожаров [Benning, Seastedt, 1995], флуктуаций атмосферного увлажнения [Jin Yao et al., 2006], динамики береговой линии [Ratas et al., 2003] либо на примере мелкомасштабных пространственных рядов с климатическим градиентом [Gosz, Sharpe, 1989; Ludwig et al., 1999].

Мы рассматриваем серию разномасштабных пространственных градиентов, которые в совокупности позволяют прогнозировать последовательность изменений вертикальной структуры ландшафта во времени. Повышенный интерес к скорости реакции компонентов ландшафта вызван климатическими изменениями [Grunewald, Scheithauer, 2011]. Один из ключевых вопросов пространственного планирования нагрузок связан с выявлением надежности социально-экономических функций ландшафта, т.е. с определением длительности сохранения им полезных с точки зрения человека свойств. Естественная тенденция изменений ландшафта, в том числе климатическая, может вносить существенные коррективы в прогноз надежности.

Для степного Южного Урала в большинстве литературных источников отмечен рост среднегодовых значений температуры за счет потепления зимнего сезона вследствие усиления циклонической широтной циркуляции, которая зимой приносит повышенное количество осадков [Груза, Ранькова, 2001; Шмакин, Попова, 2005; Шкляев, Шкляева, 2007; Ленская, Ботова, 2011]. Поскольку зимние осадки – основной источник влагозарядки почв в степях и весеннего поверхностного стока, увеличение их количества следует рассматривать как причину потенциальных изменений структуры ландшафта. Последовательность отклика свойств семиаридных ландшафтов на изменение гидротермических условий ранее подробно изучалась на примере последствий орошения [Николаева, 1994], реакции на голоценовые изменения климата [Александровский, Александровская, 2005], чувствительности к градиенту влажности почв [Breshears, Barnes, 1999]. Мы

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: akhorosh@org.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, студентка; e-mail: glashusik@yandex.ru

³ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект 14-05-00170).

ставим перед собой цель проверить гипотезу о сопряженности изменений в почвах и фитоценозах на нескольких иерархических уровнях организации низкорослого степного ландшафта Южного Урала, расположенного на участке Айтуарская степь государственного заповедника Оренбургский в Кувандыкском районе Оренбургской области. Мы ставим следующие вопросы: 1) какие свойства компонентов испытывают изменения при возрастании увлажненности; 2) существуют ли критические пороги нарастания увлажненности, при которых происходит скачкообразное изменение свойств компонентов и в какой последовательности оно происходит; 3) какая последовательность ландшафтных процессов ответственна за изменение компонентной структуры.

Материалы и методы исследований. Изучаемая территория принадлежит Алимбет-Каргалинскому физико-географическому району Саринско-Губерлинского округа Урало-Таналыкской провинции [Шакиров, 2011] (или Губерлинскому приречно-мелкосопочному району Урало-Мугоджарской низкоросло-степной провинции [Геоэкологические..., 2005]). Территория примыкает с юга к долине р. Урал и лежит в пределах двух ландшафтов, которые разделены крупным тектоническим нарушением – Сакмарским надвигом [Степной..., 1996]. Основная часть территории в пределах Западно-Уральской зоны складчатости [там же] принадлежит ландшафту, который мы определяем как структурно-эрозионное складчатое грядово-балочное низгорье, сложенное чередующимися пластами песчаников, конгломератов, известняков и алевролитов каменноугольно-пермского возраста, с останцами эоценовых поверхностей выравнивания, с петрофитными разнотравно-ковыльно-типчачевыми степями на черноземах южных, маломощных, сильнокаменистых, поверхностно-карбонатных [Хорошев и др., 2014]. Восточный сектор территории в пределах дна балки Тышкак – часть Центрально-Уральского поднятия принадлежит ландшафту мелкосопочного низгорья, сложенного вулканогенно-осадочными и интрузивными палеозойскими породами, с ковыльно-петрофитно-разнотравно-типчачевыми степями на указанных черноземах. Реликты эоценового этапа представлены в виде широкого и плоского, местами ступенчатого плато Актобе.

За точку отсчета «цепной» реакции увеличения увлажнения приняты петрофитно-степные урочища узких скалистых гребней с выходами субвертикально запрокинутых пластов конгломератов, песчаников или известняков. Минимальное увлажнение обусловлено быстрым радиальным и латеральным выносом влаги и отсутствием возможности накопления снега. В степях, несмотря на летний максимум осадков, большая их часть расходуется на испарение, а запас влаги в почве определяется в основном задержкой талой снеговой влаги [Мордкович, 2014]. Нами проанализиро-

вана серия из пяти моделей, каждая из которых включает пространственный ряд по специфическому градиенту условий, отражающему рост увлажнения местообитаний. В качестве индикатора смены увлажнения рассматривалось обилие видов травяного яруса. Для определения видов и их экологических характеристик использованы данные работ [Калмыкова, 2008; Летопись..., 2009; Рябина, Князев, 2009], в качестве основного статистического метода применяли дисперсионный анализ.

Модель 1-го уровня построена для максимального контраста ландшафтного уровня. Она охватывает все разнообразие мезоформ рельефа и весь диапазон условий увлажнения Айтуарской степи – от степных урочищ гребней и склонов до лугово-степных, луговых и кустарниковых урочищ на днищах эрозионных форм. Генезис рельефа рассматривается как регулятор водного режима (в категориях непромывной–промывной с промежуточными вариантами). Модель 2-го уровня построена для серии урочищ склонов с одинаковыми крутизной и геологическим строением, но отличающихся солерной экспозицией. Категоризация солерной экспозиции проведена по 4 румбам с границами 45, 135, 225, 315°. Экспозиция рассматривается как регулятор испарения атмосферной влаги, которое отличается на солнечных и теневых склонах.

Модель 3-го уровня основана на допущении, что при одинаковых экспозиции и крутизне и нарастающем увлажнении рост биомассы может способствовать уменьшению латерального оттока влаги, увеличению фильтрации ее в почву и снижению физического испарения. Степной фитоценоз через показатели его развития (проективное покрытие, высота травостоя, мощность дернины) рассматривается как регулятор фильтрации и эрозии. Модели строились отдельно для склонов крутизной $<10^\circ$ и $>10^\circ$ для солнечных и теневых экспозиций. В качестве границ категорий использованы значения проективного покрытия 40, 60 и 80%. Модель 4-го уровня построена для серии склоновых урочищ, сложенных одинаковыми горными породами при одинаковой экспозиции, но имеющих разную крутизну. Уклон рассматривается как регулятор интенсивности латерального внутрипочвенного и поверхностного стока. Модель 5-го уровня построена для глубоковрезанной ложины с увлажнением, обеспечивающим господство ксеромезофильных и мезофильных видов трав и кустарников. На ее примере рассмотрена регулирующая роль водосборной площади.

Для анализа использовано 202 комплексных описания, сделанных в 2011–2014 гг., а также цифровая модель рельефа с разрешением 90 м. Данные о видовом составе фитоценозов трансформированы методом многомерного шкалирования, который позволяет оперировать ограниченным числом «осей», отражающих согласованное поведение коррелирующих групп видов в зависимости от экологического

фактора [Пузаченко, 2004]. Отобрано 87 почвенных образцов из гумусовых горизонтов. Определение органического углерода ($C_{орг}$) в лаборатории кафедры физической географии и ландшафтоведения МГУ имени М.В. Ломоносова выполнено по Тюрину, рН – в водной вытяжке; на факультете почвоведения определены обменные катионы: вытеснение из почвы – по ГОСТ 26487-85 (вытяжка – хлорид аммония), катионы – методом ИСП-МС на приборе «Agilent ICP-MS 7500» (Agilent Technologies). Содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) определено по ГОСТ 26207-91 фотометрическим методом, подвижного калия (по Кирсанову) – по ГОСТ 26207-91 пламенно-фотометрическим методом, общего азота (по Кьельдалю) – по ГОСТ 26107-84 титриметрическим методом.

легкосуглинистых почвах достоверно возрастают мощность дернины, гумусового горизонта, проективное покрытие и высота травостоя, каменистость поверхности почвы; однако химические свойства почв и видовой состав травостоя принципиально не меняются.

В урочищах на плато, лучше удерживающих влагу, с преобладанием среднесуглинистых почв проявляются структурные изменения фитоценоза и почв. Скачкообразно повышается обилие мезоксерофитов *Artemisia marschalliana*, *Dianthus andrzejowskianus*, *Falcaria vulgaris*, *Helictotrichon desertorum*, *Hieracium virosum*, *Poa transbaicalica*, *Scorzonera austriaca*, *Spiraea crenata*. Оглинивание сопровождается снижением каменистости почв и увеличением содержания обменного Mg. В корен-

Группы видов травянистых растений, пространственное варьирование которых описывается осями дифференциации, чувствительными к влажности местообитания

Ось дифференциации травяного яруса	Виды во влажных местообитаниях	Виды в сухих местообитаниях	Иерархический уровень и факторы дифференциации
1-я	<i>Bromopsis inermis</i> <i>Thalictrum</i> sp. <i>Filipendula vulgaris</i> <i>Achillea millefolium</i> <i>Sanguisorba officinalis</i> <i>Galatella rossica</i>	<i>Elytrigia pruinifera</i> <i>Hedysarum argyrophyllum</i> <i>Scorzonera austriaca</i> <i>Centaurea marschalliana</i> <i>Artemisia salsoloides</i> <i>Echinops ruthenicus</i>	Ландшафтный: мезоформы рельефа. Фациально-урочищный: экспозиция, проективное покрытие
3-я	<i>Tanacetum achilleifolium</i> <i>Hieracium virosum</i> <i>Seseli libanotis</i> <i>Xanthoselinum alsaticum</i>	<i>Ferula tatarica</i> <i>Elytrigia pruinifera</i> <i>Centaurea marschalliana</i> <i>Artemisia salsoloides</i>	Фациально-урочищный: экспозиция, крутизна, проективное покрытие
5-я	<i>Scorzonera austriaca</i> <i>Ferula tatarica</i> <i>Falcaria vulgaris</i> <i>Ephedra distachya</i> <i>Trinia muricata</i> <i>Tulipa biebersteiniana</i>	<i>Oxytropis pilosa</i> <i>Galatella villosa</i> <i>Onosma simplicissima</i> <i>Echinops ruthenicus</i> <i>Stipa lessingiana</i> <i>Hedysarum argyrophyllum</i>	Фациально-урочищный: экспозиция

Результаты исследований и их обсуждение.

Из 8 осей дифференциации обилия видов травяного яруса, выделенных методом многомерного шкалирования, в качестве наиболее явных индикаторов увлажнения можно использовать значения 1-, 3- и 5-й осей (таблица). Согласно дисперсионной модели 1-го уровня, различающей группы мезоформ рельефа (рис. 1, а), максимальная доля ксерофитов и петрофитов, распознаваемая 1-й осью, свойственна водораздельным узким коренным гребням, чуть меньшая – крутым склонам, максимальная доля мезофитов – днищам наиболее глубоковрезанных эрозионных форм и поймам в днищах балок. Местообитания на плато Актобе влажнее, чем на гребнях и склонах, и сопоставимы с коренными днищами балок. Минимальным значениям 1-й оси дифференциации травостоя соответствует высокое обилие петрофитов и ксерофитов *Elytrigia pruinifera*, *Hedysarum argyrophyllum*, *Scorzonera austriaca*, *Centaurea marschalliana*, *Artemisia salsoloides*, *Echinops ruthenicus*. На первой стадии увеличения влажности при переходе от гребней к коренным склонам в

ных днищах балок, еще более влажных из-за скопления снега и разгрузки подземных вод, при высокой доле мезоксерофитов наблюдаются четкие признаки снижения рН с 7,7–8,1 до 7,3–7,8. Среди макроэлементов в гумусовых горизонтах почв наиболее «ранняя» реакция на нарастающую степень увлажнения в почвах коренных днищ балок характерна для подвижного К, сразу достигающего концентрации, типичной и для следующей стадии увлажнения (рис. 1, б), которая соответствует преобладанию кустарников и мезофильных трав в фитоценозах днищ ложин и пойм (350–650 мг/кг). Значения концентраций подвижного Р, $C_{орг}$, а также рН достигают крайних значений с некоторым запозданием – только под фитоценозами днищ ложин и пойм. Они характеризуются максимальными значениями 1-й оси травостоя с высоким обилием мезофитов и ксеромезофитов *Bromopsis inermis*, *Filipendula vulgaris*, *Achillea millefolium*, *Sanguisorba officinalis*, *Galatella rossica*. При максимальном увлажнении в днищах ложин и поймах проявляется также скачкообразное увеличение содержания $C_{орг}$, уменьшение –

обменных Ca и Na, полное выщелачивание карбонатов из профиля; в фитоценозе добавляются кустарники – миндаль, вишня, шиповник. Высота травостоя достигает 45–50 см, проективное покрытие – 80–95%, мощность дернины – 5–8 см, глубина гумусирования – 28–35 см. Такова последовательность изменений структуры при переходе от дефицитного к достаточному увлажнению в ландшафтном масштабе.

Рассмотрим более тонкие структурные изменения фациально-урочищного уровня при небольшом увеличении увлажнения без выхода за пределы «степного» или «лугового» диапазона увлажнения. Модель 2-го уровня (фактор соларной экспозиции) показала резкое отличие значений 5-й оси дифференциации видового состава травостоя на наиболее теплых южных склонах и на склонах остальных экспозиций. Ось отражает чувствительность группы видов (таблица) к первой стадии нарастания увлажнения. При переходе от южных к западным склонам достоверно увеличиваются глубина гумусирования, видовое богатство, проективное покрытие, снижается каменистость горизонта В (рис. 2). Достоверное изменение химических свойств (уменьшение pH и увеличение глубины вскипания от HCl) проявляется только на песчанках, т.е. на породах с минимальным содержанием CaCO_3 и наименьшим «запасом прочности» почв по отношению к выщелачиванию.

Значения 1-й и 3-й осей отражают следующую стадию роста увлажненности: вторые по теплообеспеченности западные склоны достоверно отличаются от восточных склонов, третьих по теплообеспеченности. Параллельно с сопутствующим ростом проективного покрытия и дернины проявляются и химические изменения: повышение глинистости способствует нарастанию концентрации обменных Mg, K, Na, гигроскопической влаги. Только на этой стадии роста увлажнения начинается снижение pH и глубины кровли почвенных карбонатов в почвах на известняках и конгломератах (с известковым цементом), т.е. на породах с большей буферностью по отношению к выщелачиванию, чем у песчаников. Фитоценозы на восточных склонах имеют сходство с плакорными урочищами на плато Актобе. При переходе от восточных к наиболее влажным северным склонам скачкообразно повышается содержание $\text{C}_{\text{орг}}$, общего N, подвижного P, обменного Mg,

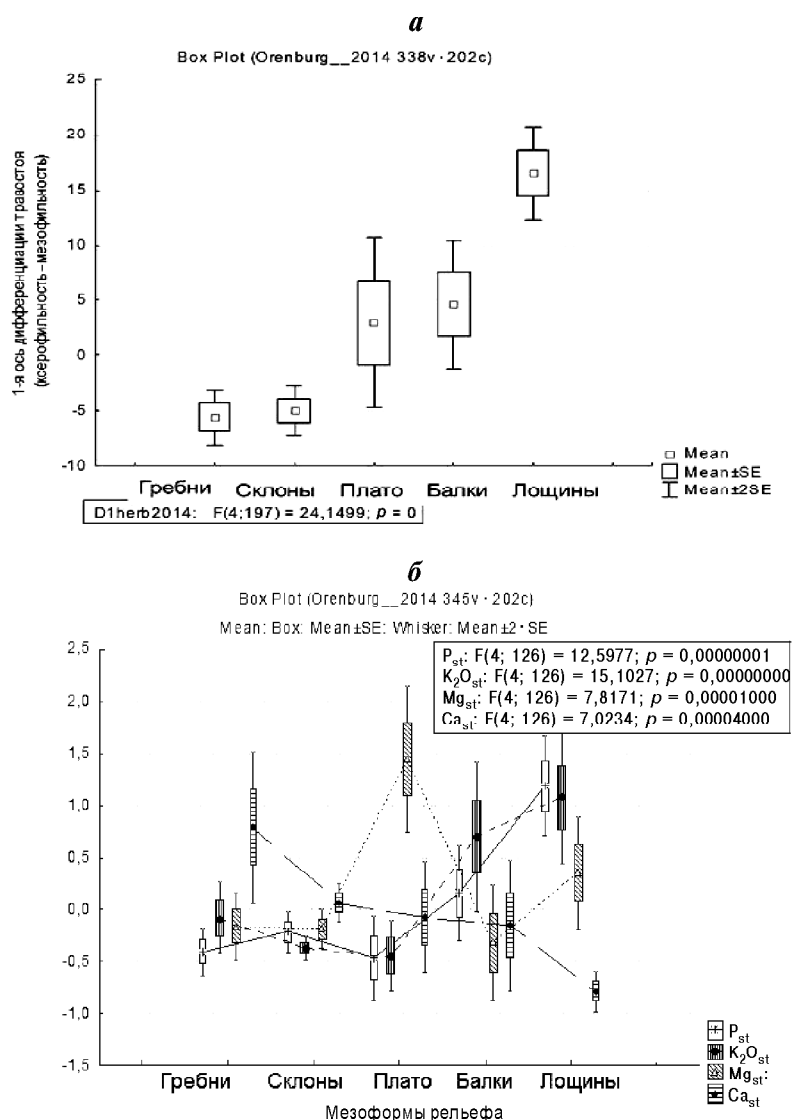


Рис. 1. Зависимость свойств фитоценозов и почв от принадлежности к группе мезоформ рельефа (в единицах стандартного отклонения от среднего, Mean – среднее, SE – стандартная ошибка): а – изменение значений 1-й оси дифференциации обилия видов травяного яруса, отражающей соотношение ксерофитов (минимальные значения) и мезофитов (максимальные значения); б – изменение химических свойств гумусового горизонта почв. Стандартизованные значения концентраций: P_{st} – подвижный фосфор, $\text{K}_2\text{O}_{\text{st}}$ – подвижный калий, Mg_{st} – обменный магний, Ca_{st} – обменный кальций

снижается – обменного Ca (рис. 2). Видовой состав фитоценозов становится похож на лугостепные сообщества верхних секторов лощин.

Модель 3-го уровня (фактор проективного покрытия) показала, что рост проективного покрытия до 40–60% сопровождается увеличением глубины гумусирования, мощности дернины, снижением поверхностной и внутрипочвенной каменистости, снижением pH (рис. 3, а), увеличением содержания $\text{C}_{\text{орг}}$, но без изменения концентраций макроэлементов. Видовой состав фитоценоза реагирует вариациями обилия второстепенных и редких для территории видов, что отражается в появлении осей дифферен-



Рис. 2. Схема скачков значений свойств компонентов ландшафта по мере увеличения увлажненности в ряду соллярных экспозиций склонов южные – западные – восточные – северные. Установлены по результатам дисперсионного анализа при $p=0,05$

циации с высокими порядковыми номерами (5–7). При проективном покрытии 60–80% видовой состав травостоя по возросшей доле мезоксерофитов и ксеромезофитов (1-я и 3-я оси) становится сопоставим с зональными сообществами на плато Актобе. Наиболее заметно увеличиваются значения концентрации подвижного Р (рис. 3, б) и обменного Мг, причем синхронно с накоплением $C_{орг}$. Одновременное уменьшение количества обменного Са происходит только на крутых северных склонах, наиболее затененных и поэтому приближающихся к луговостепному уровню увлажнения. При покрытии >80% возрастает содержание общего N, но лишь на крутых северных склонах. Этот элемент накапливается при достижении луговостепного уровня увлажнения и видовом составе, сопоставимом с таковым в верховьях лощин на восточных склонах (т.е. здесь повышена доля ксеромезофитов *Seseli libanotis*, *Filipendula vulgaris*, *Melampyrum arvense*, *Phleum phleoides* и др.).

Модель 4-го уровня (фактор крутизны склона) свидетельствует о том, что по мере выполажива-

ния склонов наиболее чуткую реакцию к задержке влаги демонстрируют подвижный К и обменный Na, содержание которых выше при уклоне 12–18°, чем при уклоне >18°. При уменьшении уклона до 7–12° наблюдается изменение обилия видов, описываемых 3-й осью дифференциации травостоя, а также снижение каменистости, увеличение концентрации подвижного Р, обменного Мг, снижение обменного Са. На склонах, сложенных песчаниками, при уменьшении уклонов до 12° раньше всего реакция на рост увлажненности проявляется в росте обилия *Stipa zalesskii*, *Tragopogon dubius*, *Tulipa gesneriana*, *Xanthoselinum alsaticum*, а также в скачкообразном снижении обилия ксерофитов *Koeleria cristata*, *Hedysarum argyrophyllum*. При уменьшении уклона <7° происходят скачкообразные согласованные изменения – увеличение проективного покрытия до 70–80%, мощности гумусового профиля до 12 см, содержания подвижного Р (с 10–20 до 28–55 мг/кг), Мг (с 13 до 15 ммоль/100 г), $C_{орг}$ (с 2–3 до 3–7%); а также уменьшение диапазона содержания обменного Са, pH (с 7,9–8,6 до 7,2–7,8), глубины кровли карбонатного горизонта (от 0 до 20–30 см) и обилия *Centaurea marschalliana*, *Elytrigia pruinifera*, *Echinops ruthenicus*, *Ferula tatarica*.

Модель 5-го уровня рассматривает для лощины массива Жуванаадыр эффекты, связанные с увеличением площади водосбора в пределах луговостепного и лугового диапазона увлажнения, диагностическими признаками которого служат выщелоченность почв от карбонатов и полное отсутствие или подчиненная роль ксерофитов. Наиболее ранний скачок значений характерен для 1-й оси дифференциации травостоя, который отражен в резком повышении обилия *Bromopsis inermis*, *Poa transbaicalica*, *Euphorbia seguierana*, *Filipendula vulgaris*, *Galatella rossica*, *Sanguisorba officinalis*, *Seseli libanotis*, *Amygdalus nana*, *Cerasus fruticosa*, снижении обилия *Stipa zalesskii*, *Elytrigia pruinifera*, *Hieracium virosum*, *Tanacetum achilleifolium*. Одновременно накапливаются общий N, подвижные Р и К, обменные Na и К, pH снижается до 7,1–7,2. При росте увлажнения в средней части лощины доминирующая роль переходит к *Bromopsis inermis*, *Falcaria vulgaris*, *Rosa majalis*, *Lonicera tatarica*; до 8–10% уменьшается содержание $C_{орг}$, дернина увеличивается до 10 см, глубина гумусирования – до 28–35 см.

Полученные последовательности изменения свойств вертикальной (компонентной) структуры низкогорно-степного ландшафта по мере роста увлажнения для нескольких иерархических уровней позволяют представить следующую «цепную» реакцию. На начальных стадиях повышения увлажненности в степных урочищах происходит изменение обилия второстепенных видов фитоценоза, что отражается осями дифференциации с большими порядковыми номерами. Рост биопродуктивности ска-

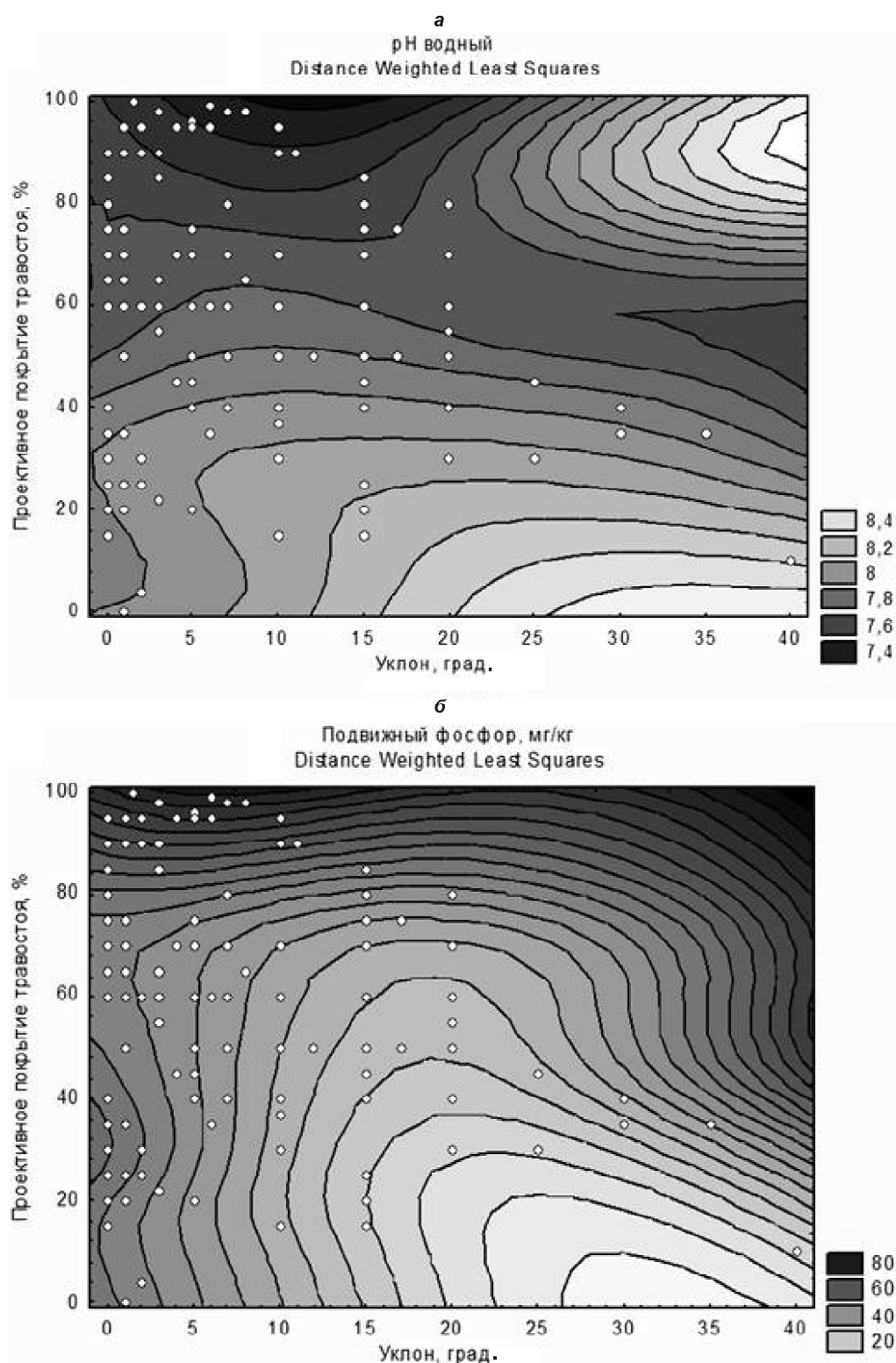


Рис. 3. Зависимость значений рН (а) и концентрации подвижного фосфора (б) в гумусовых горизонтах почв от уклонов и проективного покрытия травостоя на коренных склонах

зывается в первую очередь на подземной фитомассе, которая обеспечивает увеличение глубины гумусирования почвы и содержания гумуса. За счет усиления дыхания и корневых выделений подземной фитомассы, а также накопления органических

соединений начинается подкисление почв, что подготавливает в почве повышение подвижности оснований. На породах, не содержащих большое количество оснований (песчаники), может происходить снижение кровли карбонатного горизонта. Ак-

тивизируется внутрипочвенное химическое (за счет роста влагообеспеченности) и биологическое (за счет увеличения подземной фитомассы) выветривание, что приводит к снижению каменистости иллювиальных горизонтов почв.

При дальнейшем возрастании увлажненности сомкнутость травостоя увеличивается, что, видимо, запускает механизм положительной обратной связи и снижает физическое испарение с поверхности, благоприятствуя дальнейшему накоплению влаги в почве. Мощность дернины увеличивается, растет поток биогенных элементов в почву. Происходит радикальное изменение соотношения ксерофильных, мезоксерофильных, ксеромезофильных и мезофильных видов. Главной особенностью этого этапа цепной реакции следует считать изменение макроэлементного состава почв. В первую очередь повышаются концентрации подвижного Р и К – элементов с высокой биофильностью. Поток Р из фитомассы в почву почти пропорционален проективному покрытию и мощности дернины; превышение притока в почву над оттоком облегчается его низкой подвижностью в щелочных почвах. Если Р накапливается благодаря росту биопродуктивности, то Mg – вследствие оглинивания при выветривании коренных пород (особенно конгломератов, содержащих обломки ультраосновных пород) на склонах северной экспозиции, а также при уменьшении крутизны до 7–12°.

Третья стадия роста индицируется по переходу доминирования к ксеромезофитам и мезофитам на почвах, сильнооглинистых и подверженных периодическому промыванию; каменистость минимальна. Это сопровождается существенным ростом надземной фитомассы, высоты и проективного покрытия травостоя. Скачкообразное повышение содержания

$C_{орг}$ и снижение pH до почти нейтральных значений сопровождается выщелачиванием карбонатов, уменьшением концентрации обменного Ca, ростом концентрации общего N. Обратим внимание, что в луговостепных и луговых урочищах лощины азот из всех макроэлементов наиболее чувствителен к постепенному росту увлажнения, в отличие от чисто степных местообитаний, где он накапливается в последнюю очередь.

Выводы:

– при гипотетическом росте увлажненности низкорослого степного ландшафта возможна следующая последовательность изменений свойств ландшафта: 1) смена видового состава и обилия видов травостоя, рост глубины гумусированности и подкисление почв; 2) увеличение сомкнутости травостоя и доли ксеромезофитов, мощности дернины, накопление К и Р; 3) преобладание мезофитов, накопление $C_{орг}$ (гумуса), накопление азота и магния, полное выщелачивание карбонатов, снижение содержания Ca;

– описанная последовательность (безотносительно масштаба) в целом проявляется как на ландшафтном уровне, охватывающем весь диапазон урочищ от степных до луговых и кустарниковых, так и на более низких уровнях, охватывающих только отдельные виды степных или луговых урочищ. Таким образом, можно говорить о двухступенчатой реакции структуры низкорослого степного ландшафта на рост увлажнения. Сначала происходят изменения в пределах узкого диапазона степных условий, которые при радикальном росте увлажнения могут скачкообразно перейти в совершенно другой диапазон значений, соответствующих луговостепным или луговым условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ REFERENCES

- Александровский А.Л., Александровская Е.И. Эволюция почв и географическая среда. М.: Наука, 2005. 223 с.
- Aleksandrovskij A.L., Aleksandrovskaja E.I. Jevoljucija pochv i geograficheskaia sreda [Soil evolution and geographical environment], Moscow, Nauka, 223 p. (in Russian).
- Арманд А.Д., Кайданова В.В., Кушнарева Г.В., Добродеев В.Г. Определение пределов устойчивости геосистем на примере окрестностей Мончегорского металлургического комбината // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1991. № 1. С. 93–104.
- Armand A.D., Kajdanova V.V., Kushnareva G.V., Dobrodeev V.G. Opredelenie predelov ustojchivosti geosistem na primere okrestnostej Monchegorskogo metallurgicheskogo kombinata [Determination of geosystems stability limits as exemplified by the surroundings of the Monchegorsk metallurgy plant], Izvestiya AN SSSR, seriya geograficheskaya, 1991, no 1, pp. 93–104 (in Russian).
- Геоэкологические проблемы степного региона / Под ред. А.А. Чибилева. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 378 с.
- Geoeologicheskie problemy ste.pnogo regiona [Geoeological problems of the steppe region]. Ed. A.A. Chibilev Ekaterinburg, UrO RAN, 2005, 378 p. (in Russian).

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Изменение климатических условий в европейской части России во второй половине XX века // Влияние изменения климата на экосистемы. М.: Русский университет, 2001. С. 9–16.

Gruza G.V., Ran'kova E.Ja. Izmenenie klimaticheskikh uslovij v Evropejskoj chasti Rossii vo vtoroj polovine XX veka [Climatic changes in European Russia in the second half of the XXth century], Vlijanie izmenenija klimata na jekosistemy, Moscow, Russkij universitet, 2001, pp. 9–16 (in Russian).

Дьяконов К.Н. Физико-географический анализ зон влияния гидротехнических систем (на примерах водохранилищ ГЭС и осушительных мелиораций лесной зоны): Автореф. докт. дисс. М., 1984.

D'jakonov K.N. Fiziko-geograficheskij analiz zon vlijaniya gidrotehnicheskikh sistem (na primerah vodohranilishh GJeS i osushitel'nyh melioracij lesnoj zony) [Physical-geographical analysis of the hydrotechnical systems impact zone (as exemplified by water reservoirs of hydroelectric power stations and drainage reclamation in the forest zone)], Avtoreferat dissertacija doktora geograficheskikh nauk, Moscow, MGU, 1984 (in Russian).

Калмыкова О.Г. Закономерности распределения степной растительности Буртинской степи (госзаповедник «Оренбургский»): Автореф. канд. дисс. СПб., 2008.

Kalmykova O.G. Zakonomernosti raspredelenija stepnoj rastitel'nosti «Burtinskoy stepi» (goszapovednik «Orenburgskij») [Regularities of the steppe vegetation distribution of the Burtinskaya steppe (natural state reserve «Orenburgskij»), Avtoref. kand. biol. nauk, Sankt-Petersburg, 2008, 156 p. (in Russian).

Ленская О.Ю., Ботова М.Г. Особенности текущих климатических изменений в регионе Южного Урала // Вестн. Челябинского государственного университета. Экология. Природопользование. 2011. № 5 (220). С. 44–49.

Lenskaja O.Ju., Botova M.G. Osobennosti tekushih klimaticheskikh izmenenij v regione Juzhnogo Urala [The peculiarities of the current climatic changes in the Southern Urals region], Vestnik Cheljabinskogo gosudarstvennogo universiteta, Jekologija. Prirodopol'zovanie, 2011, no 5 (220), pp. 44–49 (in Russian).

Летопись природы заповедника «Оренбургский» (2008 год). Кн. 17. Оренбург, 2009. 218 с. URL: <http://orenzap.ru/ob-uchrezhdenii/nauka.html> (дата обращения: 16.02.2015).

Letopis' prirody zapovednika «Orenburgskij» [Nature records of the natural state reserve «Orenburgskij»), Vol.10, 2008, Orenburgh, 2009. 218 p. (Accessed: 16.02.2015) (in Russian).

Мордкович В.Г. Степные экосистемы. 2-е изд. Новосибирск: Гео, 2014. 170 с.

Mordkovich V.G. Stepnye ekosistemy. 2-e izd. Novosibirsk: Geo, 2014, pp. 170 (in Russian).

Национальный Атлас России. Т. 2. Природа и экология. М.: Роскартография, 2007.

Nacionalnyi Atlas Rossii. Vol. 2. Priroda i ekologiya. Moscow: Roskartografia, 2007.

Николаева С.А. Экологические последствия орошения черноземов в степной зоне // Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. С. 159–176.

Nikolaeva S.A. Ekologicheskie posledstviya oroshenija chernozyomov v stepnoj zone [Ecological consequences of the chernozyoms irrigation in the steppe zone], Pochvenno-jekologicheskij monitoring i ohrana pochv, Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1994, pp. 159–176 (in Russian).

Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 2004. 416 с.

Puzachenko Ju.G. Matematicheskie metody v jekologicheskikh i geograficheskikh issledovanijah [Mathematical methods in ecological and geographical research], Moscow, Akademija, 2004, 416 p. (in Russian).

Рябинина З.Н., Князев М.С. Определитель сосудистых растений Оренбургской области. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 268 с.

Rjabinina Z.N., Knjazev M.S. Opredelitel' sosudistyh rastenij Orenburgskoj oblasti [Determinant of vascular plants of the Orenburgh region], Moscow, Tovarishhestvo nauchnyh izdanij KMK, 2009, 268 p. (in Russian).

Степной заповедник «Оренбургский»: физико-географическая и экологическая характеристика. Екатеринбург, 1996. 167 с.

Stepnoj zapovednik «Orenburgskij»: fiziko-geograficheskaja i jekologicheskaja harakteristika [Steppe natural state reserve «Orenburgskij»: physical-geographical and ecological characteristics], Ekaterinburg, 1996, 167 p. (in Russian).

Хорошев А.В., Леонова Г.М., Еремеева (Иванова) А.П. Почвенно-фитоценоотические связи в ландшафте Айтуарской степи // Оренбургский заповедник: значение для сохранения степных экосистем России и перспективы развития (Тр. Гос. природного заповедника «Оренбургский»; Вып. 1). Оренбург: ИПК «Газпромнефть», 2014. С. 147–155.

Khoroshev A.V., Leonova G.M., Eremeeva (Ivanova) A.P. Pochvenno-fitocenoticheskie svyazi v landshafte Ajtuarskoj stepi [Soil-vegetation linkages in the Ajtuar steppe landscape], Orenburgskij zapovednik: znachenie dlja sohraneniya stepnyh jekosistem Rossii i perspektivy razvitiya: Trudy Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Orenburgskij». Vyp. 1. Orenburg: IPK «Gazpromneft», 2014, pp. 147–155 (in Russian).

Шакиров А.В. Физико-географическое районирование Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 617 с.

Shakirov A.V. Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie Urala [Physical-geographical regionalization of the Urals], Ekaterinburg, UrO RAN, 2011, 617 pp. (in Russian).

Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Изменения климатических характеристик, связанных с экстремальными температурами и осадками на Урале в XX веке // Геогр. вестн. 2007. Вып. 1–2. С. 10–24.

Shkljaev V.A., Shkljaeva L.S. Izmeneniya klimaticheskikh harakteristik, svyazannyh s jekstremal'nymi temperaturami i osadkami na Urale v XX veke [Changes of climatic characteristics associated with extremum temperatures and precipitation in the Urals in the XXth century], Geograficheskij vestnik, 2007, no 1–2, pp. 10–24 (in Russian).

Шмакин А.Б., Попова В.В. Современное потепление и изменение повторяемости климатических экстремумов в Северной Евразии как факторы развития сельского хозяйства // Устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий: зарубежный опыт и проблемы России. М.: Т-во научных изданий КМК, 2005. С. 356–369.

Shmakin A.B., Popova V.V. Sovremennoe poteplenie i izmenenie povtorjaemosti klimaticheskikh jekstremumov v Severnoj Evrazii kak faktory razvitiya sel'skogo hozjajstva [Present-day warming and changes in occurrence of climatic extremums in the Northern Eurasia as a factor of agricultural development], Ustojchivoe razvitie sel'skogo hozjajstva i sel'skih territorij: zarubezhnyj opyt i problemy Rossii, Moscow, T-vo nauchnyh izdanij KMK, pp. 356–369 (in Russian).

Benning T.L., Seastedt T.R. Landscape-level interactions between topographic features and nitrogen limitation in tallgrass prairie // Landscape Ecology. 1995. Vol. 10, no 6, pp. 337–348.

Breshears D.D., Barnes F.J. Interrelationships between plant functional types and soil moisture heterogeneity for semiarid landscapes within grassland/forest continuum: a unified conceptual model // Landscape Ecology. 1999. Vol. 14, pp. 465–478.

Gosz J.R., Sharpe P.J.H. Broad-scale concepts for interactions of climate, topography, and biota at biome transitions // Landscape Ecology. 1989. Vol. 3, no 3–4, pp. 229–243.

Grunewald K., Scheithauer J. Landscape development and climate change in southern Bulgaria (Pirin Mountains). Springer, 2011. 161 p.

Jin Yao, Peters D., Havstad K. et al. Multiscale factors and long-term responses of Chihuahuan desert grasses to drought // Landscape Ecology. 2006. Vol. 21, no 8, pp. 1217–1231.

Kovač P. (Ed.) Natural recovery of human-made deposits in landscape. Praha: Academia, 2004. 358 p.

Ludwig J.A., Tongway D.J., Eager R.W. et al. Fine-scale vegetation patches decline in size and cover with increasing rainfall in Australian savannas // Landscape Ecology. 1999. Vol. 14, pp. 557–566.

Lukič N., Pernar R., Ančič M. et al. Ecological consequence of oil accidents in ecosystems of lowland forest // Ekologia (Bratislava). 2007. Vol. 26, no 3, pp. 273–281.

Ratas U., Puurmann E., Roosare J., Rivas R. A landscape-geochemical approach in insular studies as exemplified by islets of the eastern Baltic Sea // Landscape Ecology. 2003. Vol. 18, pp. 173–185.

Поступила в редакцию
19.02.2015

A.V. Khoroshev, G.M. Leonova

**RESPONSE TO INCREASING HUMIDIFICATION
IN THE AITUAR STEPPE LANDSCAPE
(THE SOUTHERN URALS)**

The case study of protected low-mountain steppe landscape in the Southern Urals is used to demonstrate the experience in forecasting the chain reaction of landscape components under a hypothetical increase of humidification. Multi-scale spatial series differing in the diversity of humidification factors are compared to determine the sequence of structural changes in a steppe landscape.

Keywords: chain reaction, humidification, climate changes, phytocenosis, structure, steppe landscape, the Southern Urals.