

УДК 911.52(470.11)

А.В. Хорошев¹

ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА АГРОЛАНДШАФТА (НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕТАЕЖНОГО ЛАНДШАФТА В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

Буферные зоны в агроландшафте должны изолировать нежелательные или избыточные потоки вещества от уязвимых объектов, что позволяет рассматривать их как обязательную составляющую экологического каркаса. Для распаиваемой части среднетаежного ландшафта на юге Архангельской области проверена гипотеза о том, что при некоторых пространственных соотношениях звеньев катены и некоторой критической ширине буферной полосы загрязняющее влияние латеральных потоков вещества с пашни не проявляется в аккумулятивных звеньях катены. Установлены закономерности пространственного распределения и миграции химических элементов в агроландшафте в таежной зоне.

Обосновано размещение буферных элементов экологического каркаса для защиты водоемов и пойм от химического загрязнения с учетом разных видов ландшафтного соседства. Наличие делювиальных шлейфов у подножий коренных склонов способствует осаждению значительной части вещества, механически смываемого с распаиваемых коренных склонов. У подножий склонов террас необходимо поддержание эффективного биогеохимического барьера, создаваемого крупнотравными лугами с доминированием таволги вязолистной. Необходимость усиления экологического каркаса возникает также для лощин с крутым падением и повышенной глубиной вреза в коренной распаиваемый склон.

Ключевые слова: агроландшафт, экологический каркас, миграция, геохимический барьер, буферная зона, ландшафтное соседство.

Введение. Буферные зоны считаются классическим объектом ландшафтной экологии и ландшафтного планирования, демонстрирующим важность пространственной структуры ландшафта для регулирования потоков вещества и энергии [Паулюквичус, 1989; Колбовский, 2008; Ryszkowski et al., 1999; Turner et al., 2001]. При планировании экологического каркаса традиционными приоритетами считаются обеспечение миграции животных среди хозяйственных угодий и охрана вод. При очаговом сельскохозяйственном освоении таежных территорий с высокой лесистостью вторая цель часто оказывается актуальнее, чем первая. Буферные зоны в агроландшафте должны изолировать нежелательные или избыточные потоки вещества (иногда потоки звуков, запахов) от уязвимых природных или хозяйственных объектов, что позволяет рассматривать их как обязательную составляющую экологического каркаса. В науке о ландшафте приоритетный интерес вызывает влияние пространственной структуры на перенос вещества с внутрипочвенным и поверхностным стоком [Opp, 1991; Ryszkowski et al., 1999; Wickham et al., 2005].

Не решена и проблема количественной оценки эффективности буферных зон в перехвате элементов минерального питания [Baker et al., 2006]. Пока не существует строгой модели оценки потенциала буферных элементов ландшафта [Weller et al., 2006]. Разрабатываются метрики буферной полосы, которые должны быть основаны на трех основных кон-

цепциях: а) геохимической связности между источниками воздействия и водоемом в катене, б) емкости буферной полосы, в) возможности перенести результаты оценок катенарного уровня на уровень бассейна (агрегирования) [Baker et al., 2006]. Первая и вторая из перечисленных концепций могут опираться на представление о геохимических барьерах, исходящее из множественности вариантов ландшафтного соседства. Связность определяется почвенно-геохимическими и геоморфологическими условиями, в которых поллютанты преодолевают расстояние от мест выноса до уязвимых объектов. Емкость буферной полосы в первом приближении определяется ее шириной, в связи с чем возникает задача определить ее минимальное значение, при котором перехватывается основной объем поллютантов. Очень важна и способность почв и фитоценоза в пределах буферной полосы задержать или трансформировать часть вещества на геохимическом барьере, что может зависеть от геохимической контрастности [Касимов, Геннадиев, 2008]. Для агрегирования информации о связности и емкости буферных зон до уровня бассейна необходимо оценить, какая доля площади бассейна приходится на каждый тип ландшафтного соседства в катене.

В таежной зоне задача восполнения недостающих звеньев экологического каркаса или увеличения их емкости как буферных элементов сводится в основном к корректировке границ сельскохозяйственных угодий, содействию естественному возоб-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: avkh1970@yandex.ru

новлению зонального растительного покрова или к лесопосадкам. В этих случаях неизбежны финансовые и трудовые издержки. Поэтому должны быть определены необходимый минимум буферных элементов и допустимые варианты их соседства с сельскохозяйственными угодьями. Задача исследований – выявить условия реализации буферной роли луговых сообществ и почв на пути миграции вещества с распахиваемых коренных склонов к водотокам. В качестве основной экологической ценности рассматривается сохранение фоновых значений концентрации химических элементов в почвах и растениях пойм, а также в водотоках.

В статье рассмотрены только вопросы состояния пойменных урочищ. Основной вопрос заключается в следующем: способствуют ли фитоценозы и почвы трансакумулятивных элементарных ландшафтов (ЭЛ) осаждению антропогенных потоков твердого и растворенного вещества на механических, физико-химических, биогеохимических барьерах при разных вариантах соседства распахиваемых элементарных ландшафтов (ЭЛ) и пойм, а если да, то при какой ширине буферной полосы наиболее эффективно осаждение?

Проверялась гипотеза о том, что при некоторых пространственных соотношениях звеньев катены и некоторой критической ширине буферной полосы загрязняющее влияние латеральных потоков вещества с пашни перестает проявляться в аккумулятивных звеньях катены. Цель исследований – сформулировать основания для ландшафтно-планировочных решений по изменению структуры землепользования, расположению и параметрам защитных нераспахиваемых буферных полос. Подход основан на допущении того, что площадные соотношения и взаиморасположение угодий – фактор формирования эмерджентных эффектов – одного из ключевых предметов исследования ландшафтоведения. В рассматриваемом случае эмерджентный эффект возникает в результате геохимической связи в катене и проявляется в степени соответствия подчиненных ЭЛ фоновым параметрам.

Материалы и методы исследований. Материалы получены в подробно исследованном среднеэтажном ландшафте на юге Устьянского района Архангельской области [Емельянова и др., 2001; Горбунова, Гаврилова, 2002; Хорошев и др., 2008; Авессаломова и др., 2013]. В наиболее густо расчлененной части структурно-моренно-эрозионного ландшафта хорошая дренированность и близость богатых карбонатами коренных мергелей пермского возраста обусловили наличие относительно плодородных серогумусовых и дерново-подзолистых почв. Распахиваемые более 700 лет поля приурочены к краевым частям плоских междуречий, коренным склонам долины р. Заячья и ее притоков, цокольным террасам. На террасы наложены делювиальные шлейфы, сформировавшиеся в результате намыва с эродируемых склонов материала малоумощной среднесуглинистой морены, перекрывающего ее песчано-супесчаного чехла и коры выветри-

вания подстилающих мергелей. Ширина шлейфов варьирует от 80 до 300 м. Участие материала карбонатной московской морены и мергелей в латеральных потоках способствует расширению ареала нетипичной для тайги слабощелочной реакции в почвах (за исключением кислых песчаных почв террас).

Использованы данные около 300 комплексных ландшафтных описаний, охватывающих восточную половину распаханной части бассейна р. Заячья выше устья р. Межница (25,7 км²). Большинство из них выполнено в пределах 36 катен с охватом всех звеньев от автономных водораздельных до супераккумулятивных ЭЛ. Каждое звено полевых катен обеспечено аналогами в фоновых залесенных и залежных (необрабатываемых 15–20 лет) условиях. Полевые катены характеризуют все варианты пространственных соотношений ЭЛ: крутые и покатые коренные склоны разной длины; наложенные на террасы делювиальные шлейфы разной длины (далее террасовые шлейфы, ТШ); плоские цокольные террасы и их склоны; делювиальные шлейфы у подножий склонов террас (далее пойменные шлейфы, ПШ); тыловые швы и основные поверхности пойм.

Для почвенных горизонтов определено содержание обменных катионов (в хлоридно-аммиачной вытяжке методом ИСП-МС на приборе «Agilent ICP-MS 7500», обменный водород (потенциометрическое титрование), общий азот (по Кьельдалю титриметрическим методом), подвижный калий и фосфор (по Кирсанову, пламенно-фотометрическим и фотометрическим методами соответственно), валовое содержание микроэлементов (полуколичественный спектральный анализ, ПКСА), pH водный, содержание C_{орг} (по Тюрину). Методом ПКСА определено также валовое содержание микроэлементов в листьях таволги вязолистной (*Filipendula ulmaria*). Крупнотравные луга с доминированием этого вида господствуют практически во всех ЭЛ, расположенных гипсометрически ниже распаханых полей, – на склонах террас, пойменных шлейфах и поймах.

Сравнение поверхностных гумусированных горизонтов почв под березово-елово-сосновыми лесами (60–80 лет) и под пашней позволило выявить ассоциацию элементов, содержание которых меняется при распашке. Определена повторяемость случаев повышенной концентрации каждого элемента в каждом звене 36 катен. Повышенное накопление в проксимальном секторе ТШ расценивалось как результат преимущественного механического накопления у подножия крутого эродируемого склона. Накопление на ПШ рассматривалось как свидетельство более активной водной и механической миграции элемента, преодолевающего весь ТШ, или с террасы. Степень вовлечения элементов в биокруговорот оценивалась путем расчета отношения концентрации в листьях таволги и в гумусовых горизонтах (растительно-почвенный коэффициент, РПК).

Результаты исследований и их обсуждение. Особенность территории состоит в наличии двухчленных песчано-суглинистых отложений, в которых

развиваются подзолистые почвы с вложенным альфегумусовым подзолом [Гаврилова, Горбунова, 2002]. В почвах склонов долин, подстилаемых на не-большой глубине пермскими мергелями, подзоли-стый процесс несколько ослаблен, усиливается зна-чение гумусоаккумуляции. Поверхностные (до 15 см) горизонты лесных дерново-подзолистых почв на ко-ренных склонах имеют кислую реакцию (рН 4,7–5,5), супесчаный механический состав. По сравнению с пахотными почвами аналогичных урочищ они обо-гащены $N_{\text{общ}}$ (на склонах в среднем 0,10%), подвиж-ным К, обменными Н и Al, валовыми Mn, Bi, Mo, Zr. Сведение лесов и распахка склонов способствуют смыву маломощного песчано-супесчаного чехла. За счет запахивания моренных суглинков и мергелей пахотные горизонты на коренных склонах приобре-тают легкосуглинистый состав.

чительное уменьшение средней концентрации на поймах (90 мг/кг) и ПШ (49 мг/кг), что свойствен-но также Cr, Pb, Sn, Ga. Это позволяет предполо-жить ограниченную дальность миграции с распахиваемых склонов и осаждение в пределах ТШ на ме-ханическом и щелочном (рН 6,7–7,9) барьерах. Другая группа элементов способна к более дальней миграции и в большинстве катен максимальных зна-чений концентрации достигает в более низких зве-нях катены – на ПШ. Ее составляют $N_{\text{общ}}$ (0,09%), обменный Ca (10–13 ммоль/100 г), валовые Zn, Ag, Be, W, Nb; вторичные максимумы после ТШ могут иметь также Ba, V, Y.

Для того чтобы оценить, в какой степени эле-менты, достигающие ПШ, могут осаждаться в не-подвижных формах или вовлекаться в биологичес-кий круговорот, проанализированы разновидности

Таблица 1

**Валовое содержание микроэлементов в гумусовых легкосуглинистых горизонтах почв
фоновых и распаханых катен (мг/кг)**

Точка	Li	Ba	Cr	V	Ni	Co	Cu	Zn	Be	Ga	Sc	Y	Yb	B
Фоновый залесенный трансэлювиальный элементарный ландшафт														
1334	30	200	60	80	20	10	30	50	0	10	5	8	1	40
Распаханный трансэлювиальный элементарный ландшафт														
1371	60	500	100	150	40	20	40	100	3	15	15	20	2	50
1381	60	500	100	200	40	15	50	100	3	20	10	20	3	60
Фоновый залесенный трансаккумулятивный элементарный ландшафт (проксимальный сектор)														
1344	40	400	100	100	30	15	30	80	1	15	8	20	2	50
Распаханный трансаккумулятивный элементарный ландшафт (проксимальный сектор)														
1372	60	600	100	200	40	20	30	100	2	15	10	15	2	50

В этих горизонтах заметно больше значения рН (7,0–8,6), концентрация обменного Ca (15–20 ммоль/100 г) и Mg (5–7 ммоль/100 г), валовых Li, Ba, Cr, V, Ni, Co, Cu, Zn, Be, Ga, Sc, Y, Yb, B, чем в супесчаных горизонтах фоновых почв под лесами (рис. 1, а; табл. 1). С внесением удобрений связано обогащение пахотных почв подвижным Р (на скло-нах в среднем 208 мг/кг), К (295 мг/кг), Ba, Cr, V, Ni, Cu, Zn, B. Перечисленная ассоциация элемен-тов, смываемых с распаханых склонов, вовлека-ется в антропогенные потоки, нежелательные для сохранения фонового состояния пойм и водотоков. Связь склоновых ЭЛ с поймами и водотоками опре-деляется морфометрическими и геохимическими свойствами ЭЛ, расположенных ниже по катене. По встречаемости максимумов содержания элементов для каждого звена катены выявлены группировки элементов по распределению зон концентрации в под-чиненных звеньях катен (рис. 1, а).

Группу элементов, которые в большинстве ка-тен имеют максимум содержания на ТШ в средне-суглинистых агродерновых почвах, составляют под-вижный Р (в среднем 321 мг/кг), валовые Ba, Cr, Co, Pb, Sn, V, Ga, Y (рис. 1, а). Для Р зафиксировано зна-

щелочно-кислотной обстановки и значения РПК для таволги вязолистной. Сравнивались ПШ, распо-ложенные у подножий террас двух разновидностей – перекрытых делювиальными шлейфами на всю ширину (как правило, 100–250 м в долинах притоков Заячьей) и перекрытых лишь на часть ширины. При соседстве ПШ с крутым склоном узкой террасы (до 100–150 м), на всю ширину перекрытой распахан-ным делювиальным шлейфом, связь склонов и пойм высокая. В среднесуглинистой серогумусовой по-чве ПШ среда слабощелочная (рН 7,1–7,5). При высоком (существенно выше регионального сред-него) содержании в гумусовом горизонте Sr, Ba, Ni, Zn, W значения РПК ниже, чем в кислых почвах (табл. 2). Это свидетельствует о преобладании ме-ханической миграции, накоплении в малоподвижных формах и небольшом риске вовлечения в водную миграцию.

B, Li, V на фоне высокого содержания в почве, напротив, более активно вовлекаются таволгой в биокруговорот, чем в кислых почвах (табл. 2), что следует рассматривать как признак значимости не только механической, но и водной миграции. Эти же элементы, а также Mo и Ag характеризуются высо-

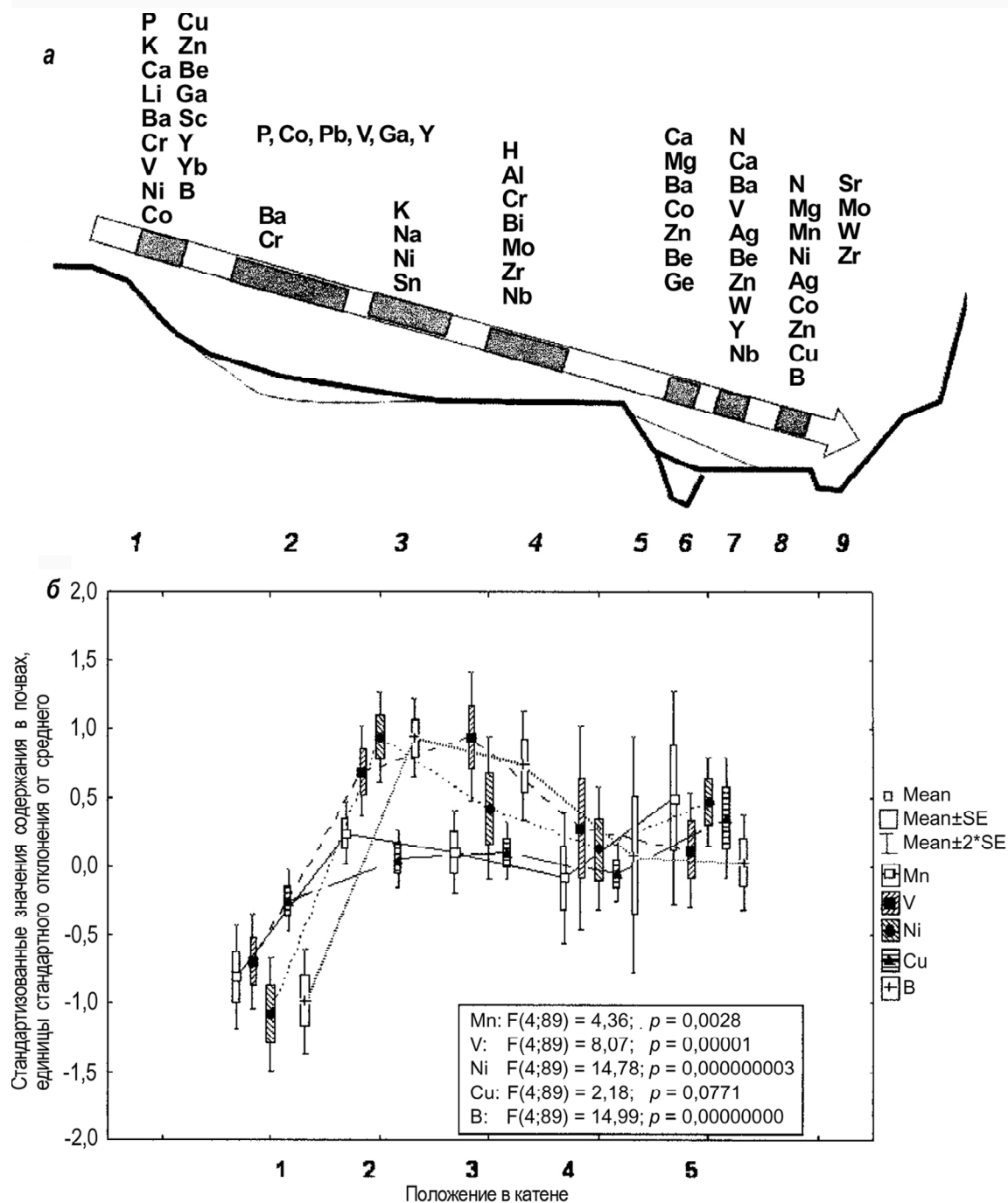


Рис. 1. Латеральная дифференциация содержания химических элементов (формы – см. в тексте) в гумусовых горизонтах почв:

a – распределение максимумов концентрации химических элементов в обобщенной катене: 1 – коренной склон; 2 – проксимальный сектор делювиального шлейфа, наложенного на террасу; 3 – дистальный сектор делювиального шлейфа, наложенного на террасу; 4 – терраса; 5 – склон террасы; 6 – тыловой шов поймы; 7 – делювиальный шлейф, наложенный на пойму; 8 – пойма; 9 – донные отложения;

б – дифференциация содержания микроэлементов (Mn, V, Ni, Cu, B) в элементарных ландшафтах по данным 36 катен (единицы стандартного отклонения). Урочища: 1 – автономные – водораздельные поверхности; 2 – трансэлювиальные – коренные склоны; 3 – трансаккумулятивные – делювиальные шлейфы, наложенные на террасы; 4 – трансаккумулятивные – делювиальные шлейфы, наложенные на пойму; 5 – супераккумулятивные – поймы.

F – значение критерия Фишера, p – уровень значимости, Mean – среднее, SE – стандартная ошибка

Fig. 1. Lateral differentiation of chemical elements concentrations (forms are explained in the text) in the humus horizons of soils:

a – distribution of maximum concentrations of chemical elements within a generalized catena: 1 – valley slope; 2 – proximal sector of a deluvial fan superimposed over the terrace; 3 – distant sector of a deluvial fan superimposed over the terrace; 4 – terrace; 5 – terrace slope; 6 – inner margin of the floodplain; 7 – deluvial fan superimposed over the floodplain; 8 – floodplain; 9 – bottom sediments;

b – spatial differentiation of trace elements concentrations (Mn, V, Ni, Cu, B) in elementary landscapes basing on the data for 36 catenas (standard deviation units). Landscape units (urochishches): 1 – autonomous – interfluvial areas; 2 – trans-eluvial – valley slopes; 3 – trans-accumulative – deluvial fans superimposed over the terrace; 4 – trans-accumulative – deluvial fans superimposed over the floodplain; 5 – super-aqual – floodplain.

F – Fisher criteria value, p – significance level, Mean – average value, SE – standard error

ким РПК на шлейфе в месте разгрузки на пойму грунтовых вод (рН 6,86), что подтверждает их участие в миграции в слабощелочных водах. Следовательно, для В, Li, V, Mo, Ag биогеохимический барьер таволговых лугов значим, но высокая подвижность в слабощелочной среде не исключает возможности продолжения миграции этих элементов за пределы шлейфа, т.е. на поймы.

Подобные сочетания ЭЛ свойственны долинам практически всех притоков Заячьей, за исключением самых нижних секторов, врезанных в плоские террасы собственно р. Заячьей (рис. 2). И.А. Авессаломовой [2015] показано, что роль биогеохимических барьеров как важных элементов экологического каркаса в тыловых секторах пойм могут также играть крупнотравные луга с преобладанием зонтичных, в меньшей степени осоковые луга. Анализ полного массива данных для почв пойменных шлейфов показал, что содержание Li, Cr, Ni, Co, Zn, Pb, Be, W, В резко падает при удалении от распаханного склона более чем на 130–150 м. Это подсказывает необходимую ширину нераспахиваемой полосы в качестве одной из характеристик ее емкости.

При другом типе соседства – у подножий широких плоских террас и, соответственно, при нарушении связности с коренными распаханymi склонами, почвы на ПШ кислые (рН 4,5–5,2); здесь накапливается иной набор элементов. Судя по активному вовлечению таволгой в биокруговорот Zn, Cu, Ni, Ba при их пониженном валовом содержании в почве и повышенном содержании Mn, эти элементы подвижны и могут проникать с распаханymi террас на поймы (табл. 2). За счет механического привноса в почвах в малоподвижных формах, судя по низким значениям РПК, накапливаются Sn, Zr, W, Ag.

До сих пор речь шла преимущественно о результатах плоскостного смыва почв. Однако связь распахиваемых склонов и пойм в основном осуществляется по лощинам, глубоко врезанным в коренные склоны и террасы. Лощины делятся на 3 группы, что требует разных подходов при проектировании экологического каркаса.

В первую группу входят лощины, которые заканчиваются пологими конусами выноса, распластанными по тыловой части широких террас Заячьей (рис. 2, А). При малом размере такие лощины обычно распахиывают целиком. На конусах выноса формируется слабощелочная среда (рН ~7,5), что сопровождается накоплением подвижного Р (291 мг/кг), К (445 мг/кг), обменных Са, Mg, К, а также Li, V, Ni, Co, Bi, Be, В. Лощины этой группы – наименее опасный канал стока загрязняющих веществ в силу изолированности от рек. При наличии технологических ограничений на изъятие их из пахотных угодий (например, при нежелательном сокращении прогона сельскохозяйственной техники) такие лощины мож-

Таблица 2

Растительно-почвенные коэффициенты для таволги вязолистной в урочищах делювиальных шлейфов, наложенных на поймы р. Межница Заячерецкая

Почва	Li	V	B	Mo	Ag	Sr	Ba	Mn	Zn	Cu	Ni
Слабощелочная	6,0	0,9	6,7	3,3	2,5	2,0	1,6	0,5	3,3	2,0	0,5
Слабощелочная с выходом грунтовых вод	7,5	0,2	10,0	2,5	3,8	1,3	1,0	0,8	3,8	0,7	0,4
Кислая	1,0	0,1	1,0	0,4	1,0	3,0	2,7	8,3	7,5	5,0	4,0

но не включать в экологический каркас, так как их значимость как местообитаний уже утрачена, а роль в переносе загрязняющих веществ незначительна.

Во вторую группу объединены короткие лощины, берущие начало на распаханых цокольных террасах Заячьей. Подвижный фосфор концентрируется в почвах только в верхней водосборной части (454 мг/кг, рН 6,29), на конусе выноса содержание падает до 41 мг/кг при рН 5,25. Концентрация азота, наоборот, монотонно нарастает по мере прохождения через лощину к конусу выноса и пойме от 0,06 до 0,08%, как и Ba, Mn, V, Zn, Pb, Sn, Ga, В. Повышенная подвижность большинства загрязняющих элементов в кислой среде, характерной для таких лощин, заставляет считать их короткими каналами загрязнения пойм. Поэтому экологичный сценарий требует изъятия водосборных понижений из распашки и восстановления лугово-кустарниковых фитоценозов – биогеохимических барьеров (рис. 2, Б) на расстоянии 50–100 м от современного края пашни. Технологически это означает введение контурной вспашки в периферийных секторах террас.

К третьей группе отнесены наиболее крупные лощины, водосбор которых находится на распаханых коренных склонах (рис. 2, В). На их конусах выноса могут накапливаться N, Mg, Ni, Zn, активно вовлекаемые в миграцию в агроландшафте. Порог снижения концентрации ряда элементов в почвах лощин зафиксирован при расстоянии более 250 м до подошвы коренного склона – исключаются высокие значения содержания $N_{\text{общ}}$ ($\leq 0,07\%$), подвижного Р (не более 150 мг/кг), валовых Ni, Co, Cu, Sc, Ga, Y, Yb, В. Буферный сектор такой протяженности выше конуса выноса обеспечивает необходимую емкость биогеохимического и сорбционного барьеров для предотвращения загрязнения пойм. При экологичном сценарии сами лощины нельзя распахиывать. Однако сокращение ширины участков может оказаться неприемлемым для производства. При компромиссном сценарии – при удаленности коренного склона от конуса выноса более чем на 250 м – достаточно изъять из распашки только нижние секторы, врезанные в террасы. Это возможно на левобережье Заячьей, где коренные склоны менее крутые и больше широких террас и длинных лощин. На правобережье большинство притоков имеет узкие крутосклонные долины, лощины более короткие, что увеличивает риск загрязнения вод.

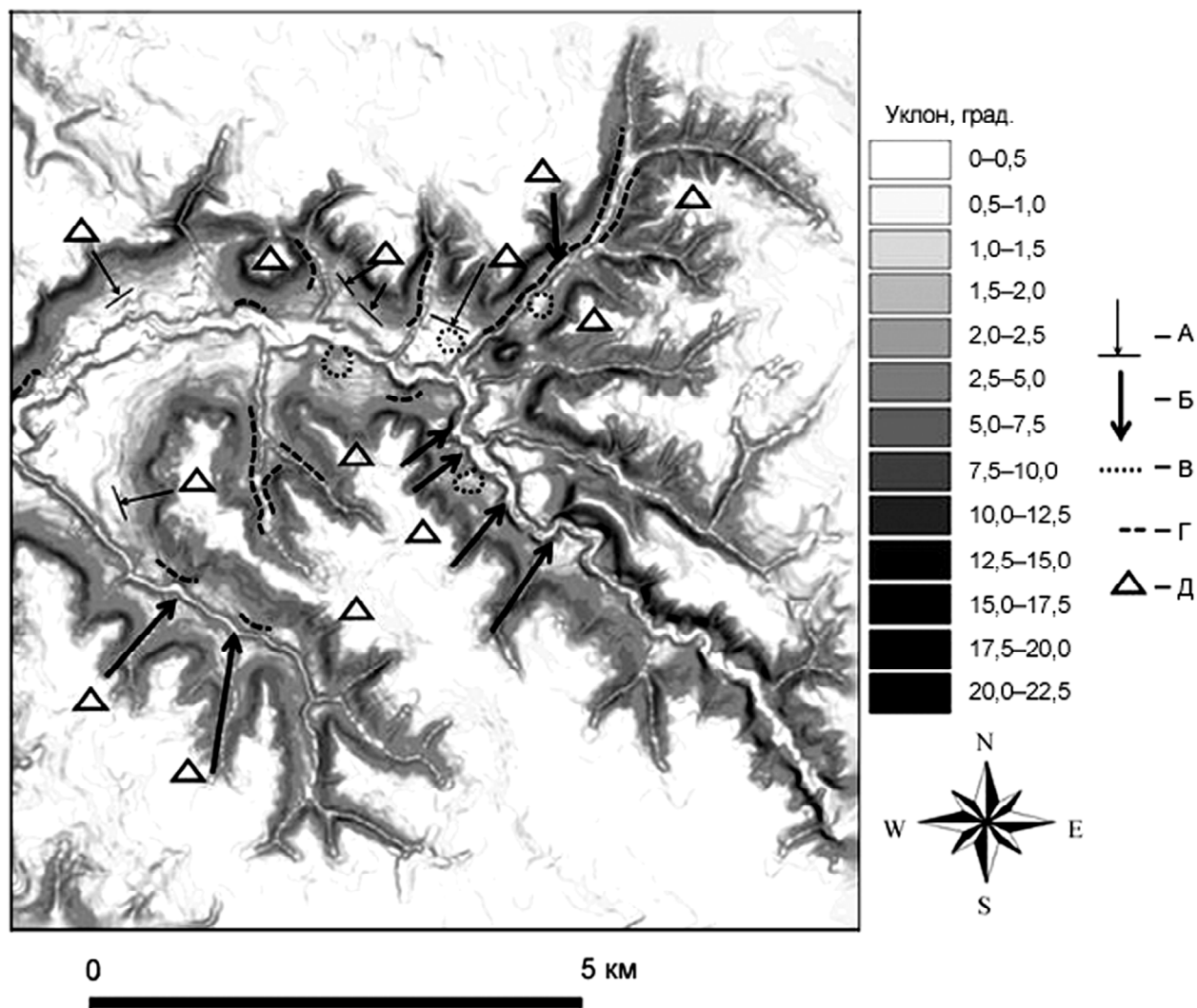


Рис. 2. Ландшафтно-геохимические приоритеты планирования экологического каркаса агроландшафта для защиты водоемов и пойм от химического загрязнения: А – короткие ложины, врезанные в коренные склоны, с конусами выноса, наложенными на террасы, не требующие включения в экологический каркас; Б – длинные ложины, требующие сохранения буферных фитоценозов на расстоянии не менее 250 м выше конуса выноса; В – ареалы водосборных понижений коротких ложин, врезанных в террасы; необходимо восстановление лугово-кустарниковых фитоценозов для перехвата элементов, подвижных в кислой среде; Г – необходимые буферные лугово-кустарниковые полосы в дистальной части делювиальных шлейфов, перекрывающих террасы; Д – автономные элементарные ландшафты полностью распаханых (кроме пойм и склонов террас) катен

Fig. 2. Landscape-geochemical priorities for designing the ecological network in the agrolandscape to protect water bodies and floodplains from the chemical pollution: А – short gullies incised into valley slopes, with alluvial fans superimposed over terraces; the inclusion into the ecological network is not necessary; Б – long gullies requiring the protection of buffer phytocenoses at the distance not less than 250 m above the alluvial fan; В – water catchment depressions of short gullies; restoration of meadow and shrub communities is necessary to intercept the elements which gain higher mobility in acid soils; Д – essential buffer meadow-shrub belts within the distant sector of deluvial fans superimposed over terraces; Е – autonomous elementary landscapes of totally cultivated catenas (outside floodplains and terrace slopes)

Геохимическая обстановка на поймах Заячьей и ее притоков рассматривается как интегральный показатель интенсивности латеральных потоков в бассейнах. Поймы Заячьей, получающие значительную часть питания из залесенной верхней части бассейна, отличаются заметно более кислой реакцией гумусового горизонта почв (рН 6,1–6,8) по сравнению с поймами ее притоков (рН 7,0–7,5), которые расположены ближе к распаханым склонам и террасовым шлейфам, обычно не располагают буферной зоной в виде плоской террасы и имеют высокую долю крутых распаханых склонов в бассейне (15–25%). Ассоциацию элементов, накапливающих-

ся на поймах, составляют $N_{\text{общ}}$ (0,09–0,10%), обменный Mg (2–3 ммоль/100 г), валовые Mn, Ba, Ni, Cu, Zn, W (рис. 1, б). При этом преобладают элементы, подвижные в кислой среде, но отсутствуют В, Li, V, Cr, которые на шлейфах со слабощелочной реакцией задерживаются таволгой на биогеохимическом барьере. При входе в наиболее распаханную часть бассейна в пойменных почвах возрастает содержание Ba, V, Zn, Pb и уменьшается Mo (не связанного с эффектами распашки).

Ключевую роль в задержании вещества в пределах буферных полос на пути миграции к поймам могут выполнять три компонента ландшафта. Во-

первых, фитоценозы способны создавать биогеохимический барьер и механически осаждают вещество. Во-вторых, почвы могут задерживать растворенное вещество на щелочном и сорбционном барьерах. В-третьих, сама морфолитогенная основа ландшафта может создавать механические препятствия на пути миграции в силу резкого уменьшения уклонов при переходе от склонов к делювиальным шлейфам, наложенным на террасы. Для агрегирования информации, полученной на катенах, на уровень бассейна приведем результаты расчетов площадной доли катен, отличающихся по риску загрязнения пойм.

Из распаханной площади рассматриваемого участка бассейна (25,7 км²) 42% приходится на катены с делювиальными шлейфами у подножий коренных склонов, соседствующих с плоскими цокольными террасами, которые прерывают латеральную связь с поймами. Необходимость потенциальных затрат на совершенствование экологического каркаса минимальна. Около 3% распаханной площади бассейна приходится на водосборы ложин, способных быть каналами миграции исключительно с плоских поверхностей террас. Шлейфы в долинах притоков Заячьей могут полностью перекрывать террасы и опираться непосредственно на их бровки. В таких секторах (около 34% распаханной площади) террасовые шлейфы служат не столько барьером, сколько транзитным звеном в миграции вещества до пойм. Наибольшая потребность в экологическом каркасе характерна для водосборов ложин (21% распаханной площади), врезаемых в распахиваемый коренной склон, пересекающих террасы и выходящих на поймы.

Угроза, которую могут представлять избыточные потоки химических элементов в агроландшафте, зависит от щелочно-кислотной обстановки в трансаккумулятивных звеньях катен. Если источником вещества служат только цокольные террасы, то, как правило, в почвах пойменных шлейфов формируется кислая среда с возможностью активного вовлечения в биокруговорот Cu, Zn, Ni, Mn. Потен-

циально активный загрязнитель фосфор в подвижных формах почти не достигает пойм. Однако необходимость буферных элементов в водосборных понижениях обусловлена подвижностью азота. Более напряженная ситуация складывается, когда терраса полностью перекрыта делювиальным шлейфом. Делювиальные шлейфы у подножий террас, наложенные на пойму, имеют слабощелочные почвы, что свидетельствует о наличии прочной латеральной связи с коренными склонами и существенном изменении геохимической обстановки по сравнению с зональными условиями. Тогда возникает необходимость в создании буферных элементов ландшафта в дистальной части террасовых шлейфов в виде луговых или лесных полос.

Выводы:

- наличие естественных буферных элементов рельефа – делювиальных шлейфов у подножий коренных склонов – способствует осаждению значительной части вещества, механически смываемого с распахиваемых коренных склонов. Поэтому отрезки пойм, примыкающие к наиболее широким террасам Заячьей и ее притоков, в основном защищены от загрязнения;

- необходимость в создании дополнительных буферных полос возникает в дистальной части шлейфов, полностью перекрывающих узкие террасы, если их ширина не превышает 150 м. Сохранение или создание луговых или лесных полос позволит сократить поступление поллютантов на поймы. У подножий склонов террас требуется поддержание эффективного биогеохимического барьера, создаваемого крупнотравными лугами с доминированием таволги вязолистной;

- необходимость усиления экологического каркаса возникает в ложинах с крутым падением и повышенной глубиной вреза в коренной распахиваемый склон. Сохранение естественной луговой растительности требуется на расстоянии не менее 250 м вверх по течению от конуса выноса.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проекты №№ 13-05-00821, 14-05-00170).

В сборе полевых материалов принимали участие И.А. Авессаломова, К.А. Мерекалова, Г.Г. Черногор, К.А. Кингсеп, П.А. Телетова, П.М. Шилов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авессаломова И.А. Ландшафтно-геохимический подход к планированию агроландшафтов // География и регион: Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. Т. 5. Пермь: Пермский гос. нац. исслед. ун-т, 2015. С. 8–13.

Авессаломова И.А., Савенко А.В., Хорошев А.В. Ландшафтно-геохимическая контрастность речных бассейнов как фактор формирования ионного стока // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 4. С. 3–10.

Горбунова И.А., Гаврилова И.П. Особенности текстурно-подзолистых иллювиально-железистых почв Архангельской учебно-научной станции МГУ // Геохимия ландшафтов и география почв. Смоленск: Ойкумена, 2002. С. 242–268.

Емельянова Л.Г., Хорошев А.В., Гаврилова И.П. и др. Устьянская учебно-научная станция географического факуль-

тета МГУ // Учебно-научные географические станции вузов России / Под. ред. Г.И. Рычагова, С.И. Антонова. М., 2001. С. 257–283.

Касимов Н.С., Геннадиев А.Н. Ландшафтно-геохимическая и почвенно-географическая школа. Базовые научные концепции // Географические научные школы Московского университета. М.: Городец, 2008. С. 198–228.

Колбовский Е.Ю. Ландшафтное планирование. М.: Академия, 2008. 336 с.

Паулюквичус Г.Б. Роль леса в экологической стабилизации ландшафтов. М.: Наука, 1989. 215 с.

Хорошев А.В., Артемова О.А., Матасов В.М., Кощеева А.С. Иерархические уровни взаимосвязей между рельефом, почвами и растительностью в среднетаежном ландшафте // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2008. № 1. С. 66–72.

Baker M.E., Weller D.E., Jordan T.E. Improved methods for quantifying potential nutrient interception by riparian buffers // *Landscape Ecology*. 2006. Vol. 21. P. 1327–1345.

Opp C. Actual problems of loadability and load in agroecosystems // *Ecology (CSFR)*. 1991. Vol. 10, N. 4. P. 373–388.

Ryszkowski L., Bartoszewicz A., Kedziora A. Management of matter fluxes by biogeochemical barriers at the agricultural landscape level // *Landscape Ecology*. 1999. Vol. 14. P. 479–492.

Turner M., Gardner R.H., O'Neill R.V. *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. Springer Verlag, 2001. 352 p.

Weller, D.E., Baker, M.E., Jordan, T.E. Progress and challenges in demonstrating riparian buffer effects on nutrient discharges from whole catchments // *25 Years of Landscape Ecology: Scientific Principles in Practice*. IALE Publication series 4. Vol. 1. Wageningen, 2007. P. 483–484.

Wickham J. D., Riitters K.H., Wade T.G., Bruce Jones K. Evaluating the relative roles of ecological regions and land-cover composition for guiding establishment of nutrient criteria // *Landscape Ecology*. 2005. Vol. 20. P. 791–798.

Поступила в редакцию 07.07.2015

Принята к публикации 28.10.2015

A.V. Khoroshev¹

LANDSCAPE-GEOCHEMICAL BASIS OF DESIGNING THE ECOLOGICAL NETWORK OF AGROLANDSCAPES (CASE STUDY OF A MIDDLE TAIGA LANDSCAPE IN THE ARKHANGELSK OBLAST)

Buffer zones within an agrolandscape are designed to isolate the vulnerable objects from undesirable or excessive matter flows, thus becoming mandatory elements of the ecological network. Our hypothesis is that under a certain spatial structure of catena and a certain critical width of a buffer zone the accumulative elements of catena will not be exposed to the polluting lateral flows from cultivated lands. The hypothesis was tested within a cultivated area of the middle taiga landscape in the southern part of the Arkhangelsk oblast. The trends of spatial distribution and migration of chemical elements in the taiga landscape were revealed. Location of the buffer elements of the ecological network for the protection of water bodies and floodplains against the chemical pollution was suggested with particular account of the different types of landscape neighborhood. The deluvial fans along the valley footslopes favor the deposition of the major part of matter washed away from the cultivated steep slopes. The terrace footslopes need an effective biogeochemical barrier which could be provided by tall grass meadows dominated by *Filipendula ulmaria*. The ecological network should be enforced in the deeply incised gullies with steep slopes.

Key words: agrolandscape, ecological network, migration, geochemical barrier, buffer zone, landscape neighborhood.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects Nos 13-05-00821, 14-05-00170). Assistance provided by I.A. Avessalomova, K.A. Merekalova, G.G. Chernogorov, K.A. Kingsep, P.A. Teletova and P.M. Shilov with the collection of field data was greatly appreciated.

REFERENCES

Avessalomova I.A. Landshaftno-geokhimicheskiy podkhod k planirovaniyu agrolandshaftov [Landscape-geochemical approach to agrilandscape planning], *Geografiya i region: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Vol. 5. Permskiy gosudarstvenniy nauchno-issledovatel'skiy universitet, Perm, 2015, pp. 8–13 (in Russian).

Avessalomova I.A., Savenko A.V., Khoroshev A.V. Landshaftno-geokhimicheskaya kontrastnost rechnykh basseynov kak faktor formirovaniya ionnogo stoka [Landscape-geochemical contrasts in the middle-taiga landscapes as a factor of ion discharge], *Vestnik Moskovskogo universiteta, seriya 5, Geografiya*, 2013, no 4, pp. 3–10 (in Russian).

Baker M.E., Weller D.E., Jordan T.E. Improved methods for quantifying potential nutrient interception by riparian buffers // *Landscape Ecology*. 2006. Vol. 21. P. 1327–1345.

Emelyanova, L.G., Khoroshev A.V., Gavrilova I.P. et al. Ustyanskaya uchebno-nauchnaya stantsiya geograficheskogo fakulteta MGU [Ustyanskaya educational and scientific station of the MSU Faculty of Geography], *Uchebno-nauchniye geograficheskiye stantsii vuzov Rossii, MSU, Moscow*, 2001, pp. 257–283 (in Russian).

Gorbunova I.A., Gavrilova I.P. Osobennosti teksturno-podzolistykh illuvialno-zhelezistykh pochv Arkhangel'skoy

uchebno-nauchnoy stantsii MGU [Iron-illuvial textural-podzolic soils in the area of Arkhangelsk experimental station of Moscow University], *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv, Smolensk, Oikumena*, 2002, pp. 242–268 (in Russian).

Kasimov N.S., Gennadiyev A.N. Landshaftno-geokhimicheskaya i pochvenno-geograficheskaya shkola. Bazoviye nauchniye kontseptsii [Landscape-geochemical and soil-geographic school. Basic scientific concepts], *Geograficheskiye nauchniye shkoly Moskovskogo universiteta, Moscow, Gorodets*, 2008, pp. 198–228 (in Russian).

Khoroshev A.V., Artyomova O.A., Matasov V.M., Koshcheyeva A.S. Ierarkhicheskiye urovni vzaimosvyazey mezhdu relyefom, pochvami i rastitelnostyu v srednetayozhnom landshafte [Hierarchical levels of interdependencies between relief, soils and plant cover in the middle taiga landscape], *Vestnik Moskovskogo universiteta, seriya 5, Geografiya*, 2008, no 1, pp. 66–72 (in Russian).

Kolbovsky E.Yu. Landshaftnoye planirovaniye [Landscape planning], *Akademiya, Moscow*, 2008, 336 p. (in Russian).

Opp C. Actual problems of loadability and load in agroecosystems // *Ecology (CSFR)*. 1991. Vol. 10, N. 4, pp. 373–388.

Paulukyavichyus G.B. Rol' lesa v ekologicheskoy stabilizatsii landshaftov [The role of forest in the ecological stabilization of the landscapes], *Moscow, Nauka*, 1989, 215 p. (in Russian).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: avkh1970@yandex.ru

Ryszkowski L., Bartoszewicz A., Kedziora A. Management of matter fluxes by biogeochemical barriers at the agricultural landscape level // *Landscape Ecology*. 1999. Vol. 14, pp. 479–492.

Turner M., Gardner R.H., O'Neill R.V. *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. Springer Verlag, 2001. 352 p.

Weller D.E., Baker M.E., Jordan T.E. Progress and challenges in demonstrating riparian buffer effects on nutrient discharges from

whole catchments // *25 Years of Landscape Ecology: Scientific Principles in Practice*. IALE Publication series 4. Vol. 1. Wageningen, 2007. P. 483–484.

Wickham J. D., Riitters K.H., Wade T.G., Bruce Jones K. Evaluating the relative roles of ecological regions and land-cover composition for guiding establishment of nutrient criteria // *Landscape Ecology*. 2005. Vol. 20, pp. 791–798.

Received 07.07.2015

Accepted 28.10.2015