ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВЕННО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ БАССЕЙНА Р. АМУР: АНАЛИЗ СТРУКТУР И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

А.Н. Махинов, А.Ф. Махинова
Институт водных и экологических проблем ДВО РАН
г. Хабаровск, Россия, mahinova@ivep.as.khb.ru

FORMATION SPECIFICS OF SOIL-GEOCAMICAL FIELDS IN THE SOIL SPACE OF THE AMUR R. BASIN: STRUCTURE AND MAPPING

A.N. Makhinov, A.F. Makhinova
Institute of Water and Ecology Problems FEB RAS
Khabarovsk, Russia, mahinova@ivep.as.khb.ru

Abstract. The distribution of elements of the geochemical background wasinvestigated in the Amur river basin. Background characteristics ofsoil-geochemicalspace were describedandsummarized. Conditions ofdispersionand steadiness ofelementsin the soilspace andmechanismsof geochemical fieldsformation in soil were revealed. Techniques of geo-statistics and numerical evaluationof geochemicalstructures were applied as an essential elementof geographical studiesfor creatingsoilgeochemical maps. Geochemicalsoilstructures were mapped for the Russian part of the Amur basin (1:2 500 000scale), usingGIS technologies and ArcGis10(ArcMap) software.

Keywords: Amur River basin, geochemical fields, mapping, soil-geochemical background

Введение. Интенсификация освоения природных ресурсов в бассейне р. Амур (сведение лесных массивов, освоение месторождений полезных ископаемых и катастрофические пожары, а также вовлечение больших площадей земель в сельскохозяйственное производство в Китае) воздействует на ландшафтную сферу, нарушают природные биогенные процессы и геохимические потоки в почвах.

Около 30% территории бассейна Амура в той или иной степени подвержены прямому загрязнению. Механизмы формирования геохимических потоков в природных ландшафтах должны учитывать также и вторичное загрязнение, обусловленное не только различными видами хозяйственной деятельности.Нередко загрязнению почв и грунтовых вод подвергаютсятерритории сопредельных регионов, удаленных от источника загрязнения на несколько десятков км. Однако многие районы бассейна Амура остаются слабо исследованными в почвенно-геохимическом отношении.

Разнообразие природных условий и широкий спектр загрязняющих веществ делают крайне сложным анализ геохимического состояния почвенного покрова, а недостаточная изученность территории затрудняют правильную интерпретацию имеющихся данных [3]. Дискуссионными остаются многие теоретические и прикладные вопросы, связанные с механизмами химического загрязнения почв, исследованиями их деградации в современных условиях [8].В числе фундаментальных задач экологии почв и геохимии ландшафтов центральное место занимает проблема выявления механизмов перераспределения загрязняющих веществ и формирования геохимических потоков в пространстве [7].

Однако до настоящего времени не разработаны количественные критерии степени согласованности природных факторов и геохимических показателей для объективности дифференциации регионального геохимического фона и построения единой ландшафтно-геохимической классификации.

Поэтому составление почвенно-геохимических карт с цельюопределения условий и степени загрязнения почвстановятся актуальнымивопросамив связи с реализации концепции ускоренного социально-экономического развития Дальневосточного региона.

Цель работы заключалась в изучении и анализе динамических показателей концентраций элементов в почвах бассейна Амура для оценки:

1. геохимической активности элементов в различных почвенно-экологических условиях;
2. роли миграционных потоков в перераспределении элементов в почвенном пространстве;
3. условий, контролирующих почвенно-геохимические системы и степень согласованности географических факторов.

Предмет и методы исследований: Исследование состояния почв и анализ почвообразующих процессов проводилось в пределах основных типов ландшафтов российской части бассейна Амура (рис. 1).При этом районы разрабатываемых месторождений полезных ископаемых рассматривались как геохимически аномальные. В этом случае важно оценить масштабы влияния горнопромышленного производства на почвенный покров.

Содержание общего углерода почвы, как основного фактора формирования геохимических потоков, определялись методом бихроматного окисления: [1, 8]. Региональный геохимический фон территории оценивался по результатам спектрального анализа макро- и микроэлементов в верхних горизонтах (0–25 см) основных типов почв с использованием метода ICPOES (эмиссионно- спектрометрический с индуктивно связанной плазмой на Спектроскане No 835 – Lif 200).В качестве элементов-индикаторов почвенно-геохимического фона использовались только те микроэлементы, содержание которых превышает уровень чувствительности спектрального анализа. Среди них были сидерофильные (Fe, Mn, Cd, Co, Ni) и халькофильные (Cu, Zn, Pb)

химические элементы. Численные значения множества концентраций химических элементов обработаны в доверительном интервале общепринятыми методами вариационной статистики [12].

В методическом отношении задача состояла в том, чтобы определить уровни содержания микроэлементов в почвах преобладающих ландшафтов, их варьирование и отклонение от средних значений регионального фона, а также классифицировать геохимические структуры для территории бассейна Амура. Картографирование почвенно-геохимических структур выполнялось на основе современных ГИС - технологий в программной среде ArcGis(ArcMap), масштаб 1:2 500 000. Для выделения зон миграции элементов были использованы методы географической интерполяции.

Особенности природных условий бассейна Амура: Бассейн Амура расположен в умеренных широтах Восточной Азии, испытывая влияние холодных воздушных масс Сибири зимой и тропического воздуха летом. В ландшафтном отношении он является весьма разнообразным. В пределах российской части Амур пересекает четыре физико-географические зоны**:** лесостепную и лугово-степную, лесную (с подзонами северной и средней тайги) южнотаежную. Климат на большей части бассейна умеренно-континентальный с муссонными чертами в восточной его части. Годовоеколичество осадков колеблется от 300–350 миллиметров в наиболее аридной западной части бассейна истоков Амура до 750–800 миллиметров в юго-восточной части Сихотэ-Алиня и нижнем течении реки Амур [10].Осадки выпадают преимущественно в летнее время.

Природные условия территории характеризуются специфическими особенностями, контролирующими перераспределение элементов в почвенном пространстве и неоднозначно влияющими на активность химических элементов. Главными особенностями природной среды бассейна Амура являются:

1. Преобладание на большей части территории относительно мягких форм рельефа с неглубоко врезанными долинами рек. Лишь местами расположены горные хребты и массивы с узкими долинами и крутыми каменистыми склонами. Преобладающие уклоны поверхности составляют 8–10°. Лесной покров распространен повсеместно, ограничивая плоскостной смыв. Денудационные процессы на склонах представлены преимущественно медленным массовым смещением материала (дефлюкция).
2. Суровые климатические условия с продолжительной малоснежной зимой способствуют интенсивному проявлению процессов физического выветривания в зоне гипергенеза. Значения БПК для природных вод с летними показателями температуры, не превышающими +4°C, остаются максимально высокими [6]. Ливневые выпадения осадков во второй половине лета обусловливают катастрофические наводнения, во время которых в долинах рек перемещается большое количество терригенного и органического материала.
3. Широкое распространение многолетнемерзлых пород с глубиной сезонного оттаивания от 0,5–1,0 м на переувлажненных грунтах и до 2,0 м на сухих каменистых склонах южных позиций способствует сокращению сроков и масштабов проявления активности геохимических процессов. На крутых склонах, где мерзлота является экраном на пути движения почвенных растворов, ливневые осадки способствуют ярко выраженному внутрипочвенному стоку, что способствует быстрому увлажнению полугидроморфных почв нижней части склонов.
4. Слабая устойчивость природных ландшафтов к техногенному воздействию, что обусловлено относительно кратковременным (с середины XIXв.а), но исключительно интенсивным локальным хозяйственным освоением территории, затрагивающем практически все компоненты природной среды [4].

Результаты исследований и обсуждение: Фоновообразующими элементами в почвах бассейна Амура являются железо и марганец [5]. Перераспределение валового содержания макроэлементов железо-марганец {C_{Fe} – C_{Mn} и соотношение различных их форм – (Fe^{2-3}, Mn^{2-5-7}) в почвенном пространстве определяются склоновыми процессами в горных районах, а в долинах рек и на равнинных территориях - поемностью и особенностями аккумуляции наносов [13]. Соотношение средних значений содержания макроэлементов железо-марганец {C_{Fe}–C_{Mn} в рыхлых аллювиальных отложениях контролирует направленность и интенсивность почвенно-геохимических потоков и зон их миграции [9].

Каждый тип ландшафтов характеризуется определенным типом геохимических потоков. Геохимические потоки сопряжены с почвенно-геохимическими зонами миграции. Наблюдаются определенные закономерности в распределении элементов в почвенном пространстве различных ландшафтов. Так в степной и лугово-степной зонах карбонатные отложения и небольшие сапропелевые участки характеризуются повышенными концентрациями щелочноземельных элементов {Ca–Mg и снижением макроэлементов железо-марганец {C_{Fe} – C_{Mn} в аллювиальных отложениях. Заболоченные равнины с особым типом водообмена и высоким содержанием органического вещества способствуют накоплению макроэлементов железо-марганец {C_{Fe} – C_{Mn}. Многочисленные в бассейне Амура месторождения железистых и железисто-марганцовых руд (железистые кварциты) контролируют содержание {C_{Fe} – C_{Mn}на участках сопредельных территорий [16].

Распределение элементов в почвенном пространстве является косвенным показателем экологического состояния почвенно-геохимических полей. Они характеризуются определенным составом элементов и их миграционной активностью, наличием или отсутствием геохимических барьеров.

Почвенно-геохимические потокии зоны их миграции в бассейне Амура в значительной степениконтролируются процессами синтеза и распада органического вещества, образованием тонкодисперсных и растворимых фракций гумусовых кислот [17]. Высокомолекулярные органические соединения, находящиеся в коллоидно-дисперсном состоянии при избытке воды кластеризуются с образованием мицелл. Накапливающаяся на гидрофобных поверхностях вода способствует отдельным атомным группам или определенным участкам радикалов одной молекулы вещества по-разному взаимодействовать с молекулами почвенного раствора.

Неоднородность разложенного органического вещества при различной концентрации гидрофобных молекул способствует формированию неоднородности концентраций водородного иона в почвенном растворе, что предполагает различные стадии диссоциации органических кислот [11]. В этих условиях возможны различные зоны миграции элементов. Критериями для их выделения являются различия концентраций водородных ионов в почвенном растворе, определяющие направленность геохимических процессов (рис. 1).

На примере щавелевой кислоты это выглядит следующим образом (рис. 1):

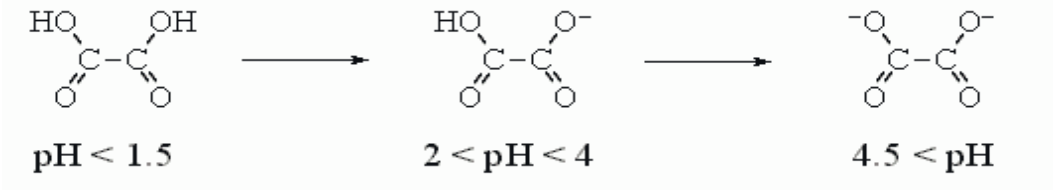

Рис. 1. Насыщение почвенных растворов гумусовыми кислотами при их растворении

При насыщении органогенных горизонтов влагой происходит постепенное растворение и насыщение растворов гумусовыми кислотами, которые реакционноспособны даже при невысоких температурах. Органические кислоты вступают в реакции ионного обмена на гранях структурных педов при высоких концентрациях водородного иона (pH <4)[Варшал, Велюханова, 1993]. При прохождении через тело педов по микротрещинам и мелким порам, концентрация водородных ионов падает и при pH>4,5 механизмы помимо ионного обмена могут приобретать и окислительный характер. Процесс окисления сульфидов в микропорах чаще всего приводит к образованию комплексных катионов $[FeHSO_4]^+$, $[FeHSO_4]^{2+}$, $[CuHSO_4]^+$ и других, которые при сильном переувлажнении почв (особенно в период быстрого таяния снежного покрова) могут испытывать гидролизные превращения по схеме: $[AHSO_4]^{2+} + H_2O \rightarrow [A(OH)SO_4]^+ + 2H^+$. При этом увеличение кислотности в растворе до значений pH<3 способствует диссоциации комплексных солей с образованием в растворе Fe^{2+},Cu^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}, Sn^{4+} и HSO_4^-, $SO_4^=$, $H_2AsO_4^{4-}$,AsO_4^{3-}, $[Sn(OH)_4]^o$[17].

В целом, условия миграции химических элементов и их соединений на территории бассейна Амура определяются климатическим и биогеохимическим потенциалом. Климатический потенциал характеризуется коэффициентом увлажнения (Q_m) и длительностью безморозного периода. На условия миграции также оказывают влияние особенности рельефа и мощность рыхлых отложений. Подавляющее большинство элементов в природе находится в связанном состоянии – в виде соединений. Преобладающие формы соединений специфичны и определяются геохимической активностью элемента. Различают геохимическую активность и миграционную активность элементов:

- Геохимическая активность элемента в почвах – это его способность к проявлению химических свойств: дипольные взаимодействия, поляризация, образование водородных связей, ассоциация, диссоциация, сольватация в составе природного соединения, измеряется общей концентрацией вещества [5].
- Миграционная активностью элемента в почвах – это проявление химических свойств, способствующих образованию его растворимых соединений при увлажнении, способных к миграции в составе почвенных растворов.

Экспериментально доказано, что структурные группы, входящие в состав ГК,определяют химические свойства гуминовых веществ и направленность геохимических процессов в почвенных растворах [11].

Характеристики биогеохимического потенциала являются основнымпоказателем концентраций агрессивных фракций гумусовых кислот. Роль их в геохимических процессах почвенного покрова показана в таблице 1.

Таблица 1

Химические свойства гумусовых кислот (ГК)

Структурная группа ГК	Механизмы взаимодействия ГК в почвах	PHвод.	Растворимость Fe/Mn (почв. р-р)	Преобладающие геохимические потоки
COOH	Ионный обмен	<4,8	Р/Р	L - латеральные (Ls –склоновые, Lv – боковые и Lg – поверхностные)
CAr–OH	Комплексообразование	6,0–7,2	М/Н	R – радиальные (Rv – нисходящие и Rm – восходящие)
>C=O	Окисление-восстановление	>4,5	Р/Р	W - аквальные (застойн. водн.режим) (Wv – выпотные, аккумул.-выпотныеWz – застойно-мерзлотные
C_6H_6	Донорно-акцепторные	<2,5	Р/Р	
–CHn	Гидрофобные взаимодействия	–	Н/Н	T техногенные (Tr – рекреационныеиTt - природно-техногенные)

Гидрофобные взаимодействия молекул воды с неполярными молекулами дисперсных гуминовых веществ происходят в органогенных горизонтах при высоких концентрациях растворимых форм агрессивных фракций гуминовых кислот. В разбавленных растворах, обогащенных кислородом, качество органического вещества определяет зоны миграции микроэлементов в почвенном пространстве. Железо и марганец выполняют роль разгрузки агрессивных фракций органических кислот, создают буферные зоны и, таким образом способствуют снижению уровня подвижности некоторых элементов в почвенных растворах или их осаждению [18]. Интенсивность этих процессов зависит от качества органического вещества и соотношения концентраций агрессивных фракций ГК. Высокая растворимость комплексных органоминеральных соединений железа и марганца в кислых и слабокислых почвах способствует поддержанию баланса геохимического фона территории и формированию определенных миграционных потоков. На территории бассейна Амура выделено 4 типа миграционных потоков:

1. Латеральные миграционные потоки (L)с внутрибоковым обменом вещества в почвенномрастворе наиболее характерны для почвенно-геохимических полей склонов горных хребтов и массивов. Интенсификация латеральных потоков обусловлена высоким содержанием растворимых агрессивных фракций фульвокислот, синтезируемых в таежной зоне и способных к ионному обмену. Гуминовые кислоты, синтезируемые в лесной зоне, способны к комплексообразованию. И поэтому латеральные почвенно-геохимические потоки в различных ландшафтных условиях характеризуются неодинаковыми рядами активности элементов.
2. Радиальныемиграционные нисходящие и восходящие потоки (R) направлены вертикально вниз по профилю почв и осуществляют внутрипочвенный обмен вещества. Зонами их миграции являются территории плато, плоских вершин и приподнятых равнин с промывным водным режимом почв.
3. Аквапотоки (W) формируются на равнинных территориях с застойным водным режимом. Они возникают при выпадении большого количества атмосферных осадков в летний период (>300 мм). При резком подъеме уровня воды на заболоченных территориях аквапотоки образуют триггерные зоны (зоны перекрытия) с латеральными потоками(L),вбольшомколичествепереносятрастворенныеивзвешенныевещества. В почвах равнинных территорий при выпотных механизмах передвижения почвенных растворов в средней части бассейна Амура происходит накопление элементов в верхней части профиля. Эти территории локальны, занимают не более 0,5% площади и в связи с этим в данной работе детально не анализировались.
4. Техногенные миграционные потоки в бассейне Амура (T) связаны с влиянием крупных мегаполисов и разработкой месторождений золота, олова и угля [Глазовская, 2007]. Некоторые миграционные потоки в районе строительства и эксплуатации польдеров в пойме Амура также можно отнести к природно-техногенным (рис. 2). В бассейне Амура такие территории занимают площадь менее 1%.

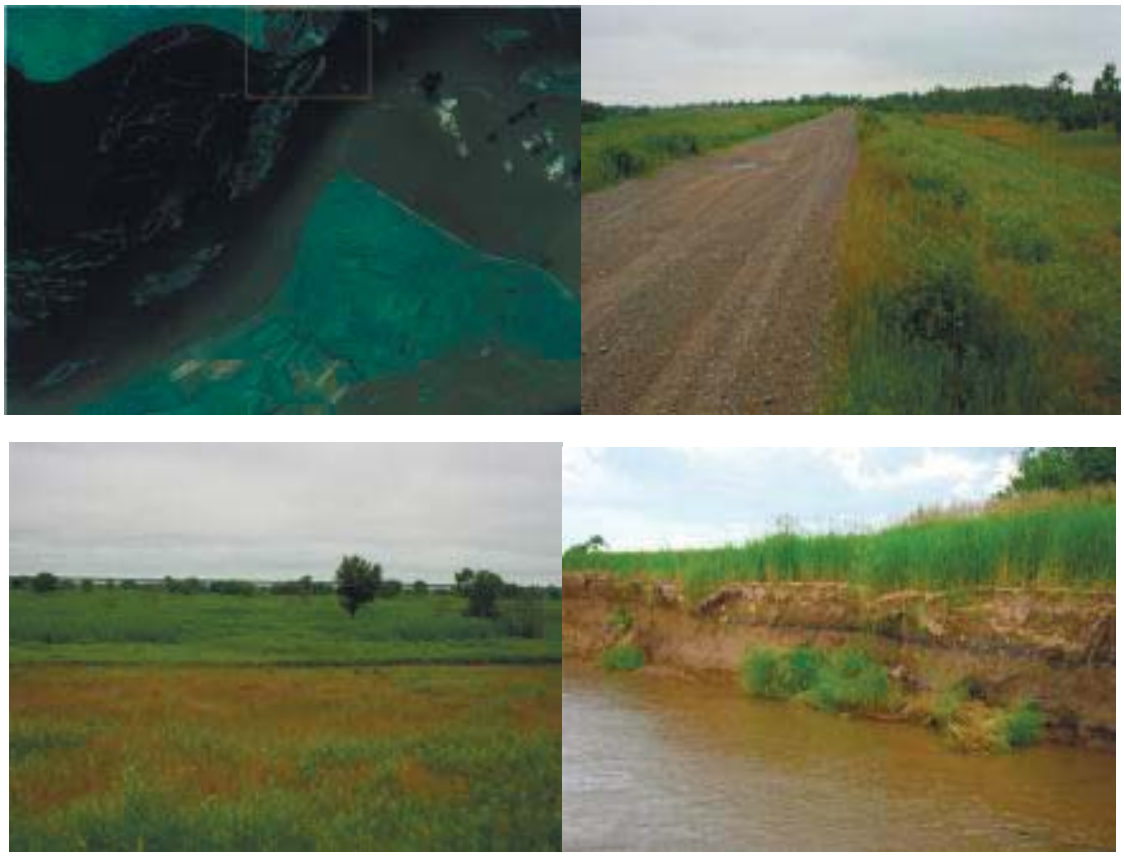

Рис. 2. Техногенная зона агрогенеза, польдер в пойме р. Амур вблизи г. Хабаровск (фото А.Н. Махинова)

Типы миграционных потоков характеризуются:

• постоянством средних значений концентраций элементов;

• определенной частотой встречаемости почвенно-геохимических зон миграции и определенным разнообразием миграционных потоков;

• определенными рядами миграционной активности элементов, соответствующих почвенно-геохимическим зонам миграции;

• различным составом элементов и уровнями их миграции (a-f-d), определяющими типы миграционно-геохимических потоков элементов-индикаторов.

Таким образом, каждый тип миграционного потока характеризуется определенной неоднородностью и составом элементов, соответствующих уровням их активности. Уровни активности определяются степенью отклонения концентраций элементов от их средних значений фона.

Определенное соотношение уровней активности элементов характеризует ареалы почвенного пространства, сопряженного миграционными потоками в почвенно-геохимические поля и триггерные зоны.

Триггерные зоны apriori являются зоной возникновения геохимических барьеров.

Выделенные типы миграционных потоковсогласуются с геохимическими процессами в почвах, а частота их встречаемости косвенно определяет границы почвенно-геохимических полей. Экологическое состояние геохимического поля характеризуется определенным составом элементов в почвенном пространстве и близкой миграционной активностью [14]. Таким образом, геохимические потоки объединяют подтипы почв в один ареал – почвенно-геохимическое поле. Состав химических элементов и соотношение уровнейих миграционной активности определяют основные классификационные единицы (почвенно-геохимические поля). Уровни миграционной активности элементов определяются степенью отклонения концентраций элементов от их средних значений фона.

Пространственную изменчивость концентраций элементов как состояние регионального геохимического поля территории оценивались по коэффициентам концентрации элементов (Kj), определяемых как отношение концентраций элементов в почвах к кларкам литосферы. В границах почвенно-геохимической матрицы выделено 3 типа уровней концентраций элементов:

1. a уровни накопления элементов ($Kj>1,1$);
2. f уровни соответствия концентраций элементов их региональному фону ($0,7<Kj<1,1$)
3. d уровни дефицита элементов ($Kj<0,7$).

Уровни концентраций элементов в почвенном пространстве (состояние рассеяния или концентрации) функционально согласуется с почвенно-геохимическими потоками, которые определяются условиями миграции игеохимическими процессамив почвах.

В фоновых почвах бассейна Амура по степени проявления миграционной активности элементов-индикаторов выделен 21 ряд им соответствуют почвенно-геохимические зоны миграции (табл. 2). Частота их встречаемости в различных ландшафтах неоднозначна, она отражает разнообразие форм миграции элементов (растворенная, в составе взвесей, механическое перемещение, в годовом биологическом цикле круговорота) и экологические условия территории.

Неоднородность распределения элементного состава в фоновых почвах бассейна Амура определяет следующие основные закономерности:

1. геохимический фон почвенного покрова образуют элементы группы железа, характеризующиеся высокой растворимостью в органических кислотах и миграционной активностью в составе органоминеральных комплексов;
2. почвенно-геохимические потоки представляет собой сложную динамическую систему взаимообусловленных процессов дезинтеграции горных пород, денудации и внутрипочвенного стока;
3. механизмы почвообразования между различными фазами почвы обусловливают различную интенсивность проявления геохимических процессов в пространстве и формирование различных почвенно-геохимических зон миграции;
4. высокие концентрации железа и марганца связывают агрессивные фракции органических кислот, выполняя роль разгрузки, создают буферные зоны и способствуют снижению уровня подвижности некоторых элементов (Cu, Zn, Pb) в почвенных растворах или их осаждению [14].

Для регионального фона бассейна Амура выделено четыре типа миграционных потоков, характеризующихся:

1. постоянством средних значений концентраций элементов;
2. определенной частотой встречаемости почвенно-геохимических зон миграции и разнообразием почвенно-геохимических потоков;
3. рядами миграционной активности элементов, соответствующих почвенно-геохимическим зонам миграции;
4. различным составом элементов и уровнями их миграции, определяющими типы геохимических потоков.

Завершающим этапом работы явилось создание карты «Ландшафтно-геохимического районирования бассейна р. Амур» в масштабе 1:2 500 000 в программной среде ArcGIS 10 (ArcMap). Единицей картографирования является ландшафтно-геохимическая зона миграции. При ландшафтно-

геохимическом районировании выделено 21 тип контуров, плотность которых неоднозначна в различных географических условиях. Фрагмент карты показан на рисунке 2.

Таблица 2

Ландшафтно-геохимическое районирование бассейна Амура (легенда к карте)

№	Почвенно-геохимические структуры		Критерии выделения геохимических зон миграции **
	геохимические поля	зоны миграции химических элементов	
1	Латеральные криотранс-элювиальные	Автоморфная зона криотурбации	Fe^3>Al^3>Mn>Cu>Zn>Pb>Co>Ni**
2		Автоморфная зона криоперемешивания	Fe^3>Mn>Al^3>Cu>Pb>Zn>Co>Cd
3		Латерально-трансэлювиальная зона	Fe^3>Al^3>Mn>Cu>Pb>Co>Cd>Ni
4		Латерально-трансаккумулятивная зона	Fe^3>Mn>Al^3>Cu>Pb>Zn> Cd>Co
5		Латерально-элювиальная зона	Fe^3>Al^3>Mn> Pb>Cu>Zn>Co>Ni
6	Триггерные поля перекрытия геохимических потоков	Латерально-радиальная зона гуматогенеза	Fe^3>Al^3>Mn>Cu>Pb>Zn>Ni
7		Латерально-радиальная гуматофульвогенеза	Fe^3>Al^3>Mn>Cu>Zn>Cd>Ni
8		Радиально-латеральная трансаккумуляции	Fe^3>Al^3>Mn>Cu>Co>Cd>Ni
9		Радиально-латеральная зона сорбции	Fe^3>Al^3>Mn>Cu>Zn>Co>Ni
10	Аккумулятивные и транс- аккумулятивные	Радиально-элювиальная зона (по Fe^{+3})	Fe^3>Al^3>Ca>Mn>Cu>Co>Cd>Ni
11		Радиальная зона трансаккумуляции	Fe^3>Al^3>Mn>Ca>Cu>Zn>Cd>Ni
12		Радиальная зона слабого транзита	Fe^3>Mn>Al^3>Cu>Zn>Pb>Co>Cd
13		Радиальная зона интенсивной аккумуляции	Fe^3>Al^3>Mn>Ca>Cu> Pb>Co>Ni
14		Радиальная зона выпотной аккумуляции	Fe^3>Al^3>Mn>Ca>Na>Cu> Pb>Co
15	Супераквальные элювиального акватранзита	Радиальная зона дисперсного выветривания	Fe^3>Al^3>Mn>Ca>Cu>Pb>Co>Cd
16		Аквальная зона биогенной аккумуляции	Fe^2>Al^3>Ca>Mn>Cu>Zn>Pb>Co
17		Аквальная зона внутренней аккумуляции	$Fe^{2\ 3}$>Al^3>Mn>Cu>Zn>Pb>Co>Cd
18		Супераквальная трансэлювиальная	Fe^2>Al^3>Mn>Ca>Cu>Zn>Pb> Ni
19	Техно-агро-антропогенеза	Агрозона	NPK; Fe^3>Mn>Al^3>Cu>Pb>Zn>
20		Технозона	Fe^3>Al^3>Mn>Cu>Zn>Pb>Co>Ni
21		Технозона продуктов выветривания	Fe^3>Al^3>Mn>S>Cu>Zn>Pb>Cd

Примечание: * – номер ландшафтно-геохимической зоны на карте;*
** – ряды распределения элементов в почвоэлювии*

Анализ имеющегося материала с позиций современных геохимических концепций миграционной активности элементов в почвенном пространстве основных типов ландшафтов, как динамически сопряженных геохимических полей позволил создать плоскую модель Ландшафтно-геохимического районирования бассейна Амура и в программной средеArcGis 10 (ArcMap) составить соответствующий ей макет карты в М 1:2 500 000 (рис. 3).

На карте показаны почвенно-геохимические зоны миграции элементов-индикаторов. Частота их встречаемости в различных ландшафтах неоднозначна, она отражает разнообразие форм миграции элементов (растворенная, в составе взвесей, механическое перемещение, в годовом биологическом цикле круговорота) и экологические условия территории. Различные соотношения миграционных потоков послужили основой для объединения геохимических зон миграции элементов в крупные морфоструктурные элементы – почвенно-геохимические поля. Их ареалы совпадают с крупными формами рельефа.

На составленной карте ландшафтно-геохимического районирования бассейна Амура отражена пространственная дифференциация почвенно-геохимических полей, сопряженных с основными ландшафтно-геохимическими потоками, выделено 5 почвенно-геохимических полей.

Карта ландшафтно-геохимического районирования бассейна Амура имеет большое прикладное значение и может быть использована в целях экологических прогнозов при организации рационального использования земельных ресурсов территории.

Выводы. Анализ представленной схемы ландшафтно-геохимического районирования позволил выявить основные закономерности в структуре геохимических потоков бассейна реки Амур.

1. В таежных и лесотаежных ландшафтах характер поведения железа и марганца согласуется с поведением агрессивных фракций фульвокислот и контролируется процессами ферсиаллитизации, характерными для шести элементарных ландшафтно-геохимических зонах миграции.

2. В лесной зоне региональный фон геохимических полей нарушается присутствием катионов кальция в катионнообменных фракциях, что согласуется с составом органического вещества и формированием повышенных концентраций агрессивных фракций гуминовых кислот, где контролирующим процессом является гуматогенез, объединяющий две ландшафтно-геохимических зоны миграции.

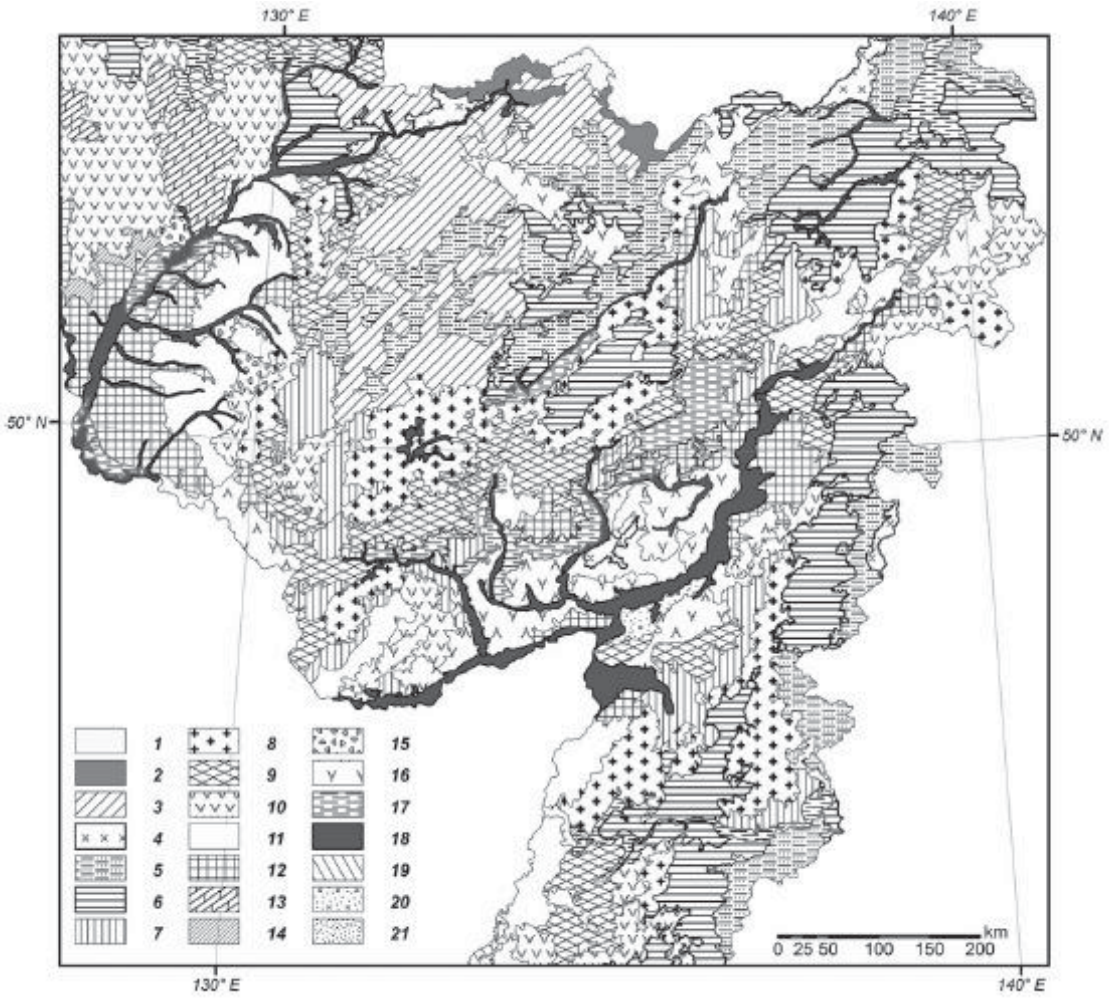

Рис. 3. Ландшафтно-геохимическое районирование бассейна Амура (фрагмент карты)
Почвенно-геохимические зоны миграции: 1 – автоморфная зона криотурбации, 2 – автоморфная зона криоперемешивания, 3 – латерально-трансэлювиальная зона, 4 – латерально-трансаккумулятивная зона 5– латерально-элювиальная зона, 6 – латерально-радиальная зона гуматогенеза, 7 – латерально-радиальная гуматофульвогенеза, 8 – радиально-латеральная трансаккумуляции, 9 – радиально-латеральная зона сорбции, 10 – радиально-элювиальная зона, 11 – радиальная зона транс-аккумуляции, 12 – радиальная зона слабого транзита, 13 – радиальная зона интенсивной аккумуляции 14– радиальная зона выпотной аккумуляции, 15 – радиальная зона дисперсного выветривания, 16– аквальная зона биогенной аккумуляции, 17 – аквальная зона внутренней аккумуляции, 18 – супераквальная трансэлювиальная, 19 – агрозона, 20 – технозона, 21 – технозона продуктов выветривания

3. Луговые и лугово-степные ландшафты объединяют процессы глеегенеза и интенсивной аккумуляции полуторных окислов и кальция, что связано с характером органического вещества и выпотным режимом почв. Однако их геохимическое сопряжение неоднозначно и контролируется автоморфными или трансэлювильными ландшафтами. В бассейне Амура они объединяют 5 ландшафтно-геохимических зон миграции.

4. Болота и мари – особая область аквально-биогенной аккумуляции соединений двухвалентного железа и марганца, аккумуляция других макро- и микроэлементов контролируется сопряжением с автономными трансэлювиальными ландшафтами. Долинно-речные ландшафты представляет собой зону супераквального транзита и аккумуляции, ее геохимический фон неоднозначен и контролируется географическими условиями и сопряжением с автоморфными трансэлювиальными ландшафтами.В ее составе выделяются 2 ландшафтно-геохимические зоны миграции.

5. Пространственное положение техногенных ландшафтов контролируется хозяйственной деятельностью, во многом обусловленной географическими особенностями территории, они объединяют 3 ландшафтно-геохимические структуры.

6. Ландшафтно-геохимическое районирование бассейна р. Амур имеет научное и прикладное значение, как основак разрабатываемым технологиям для составления ландшафтно-геохимических карт более крупного масштаба. Оно также может быть использовано в решении конкретных задач приразработке региональных программ и экологически адаптированным управлением территорией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК
REFERENCES

1. *Бельчикова Н.П.* Определение гумуса почв по методу И.В. Тюрина // Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. С. 56–62.

Bel'chikova N.P. Opredelenie gumusa pochv po metodu I.V. Tjurina // Agrohimicheskie metody issledovanija pochv. M.: Nauka, 1975. S. 56–62 (in Russian).

2. *Варшал Г.М., Велюханова Т. К., Кощеева И.Я.* Геохимическая роль гумусовых кислот в миграции элементов // Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 69–79.

Varshal G.M., Veljuhanova T. K., Koshheeva I.Ja. Geohimicheskaja rol' gumusovyh kislot v migracii jelementov // Guminovye veshhestva v biosfere. M.: Nauka, 1993. S. 69–79 (in Russian).

3. *Вернадский В.И.* Проблемы биогеохимии // Труды Биогеохимической лаборатории АН СССР, М. 1980. Т. 158. С. 10–226.

Vernadskij V.I. Problemy biogeohimii // Trudy Biogeohimicheskoj laboratorii AN SSSR, M. 1980. T. 158. S. 10–226 (inRussian).

4. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов. М., 2007.321 с.

Glazovskaja M.A. Geohimija prirodnyh i tehnogennyh landshaftov. M., 2007. 321 s. (in Russian).

5. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов. М.: Недра, 1994. 117 с.

Ivanov V.V. Jekologicheskaja geohimija jelementov. M.: Nedra, 1994. 117 s. (in Russian).

6. *Ивашов П.В., Сиротский С.Е.* Биогеохимические особенности растений бассейна р. Ургал // Эколого-биогеохимические исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука, 1996. С. 33–45.

Ivashov P.V., Sirotskij S.E. Biogeohimicheskie osobennosti rastenij bassejna r. Urgal // Jekologo-biogeohimicheskie issledovanija na Dal'nem Vostoke. Vladivostok: Dal'nauka, 1996. S. 33–45 (in Russian).

7. *Касимов Н.С., Глазовская М.А., Перельман А.И.* Основные понятия геохимии ландшафтов, существенные для фонового мониторинга // Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. М.: Наука, 1989. С. 8–25.

Kasimov N.S., GlazovskajaM.A., Perel'manA.I. Osnovnye ponjatija geohimii landshaftov, sushhestvennye dlja fonovog monitoringa // Landshaftno-geohimicheskie osnovy fonovogo monitoring prirodnoj sredy. M.: Nauka, 1989. S. 8–25 (in Russian).

8. *Махинова А.Ф.* Почвенный покров Нижнего Приамурья. Владивосток: ДВО РАН, 1989.144 с.

Mahinova A.F. Pochvennyj pokrov Nizhnego Priamur'ja. Vladivostok: DVO RAN, 1989.144 s. (in Russian). (In Russian).

9. *Махинова А.Ф., Махинов А.Н. Ермошин В.В.* Основные геохимические потоки в ландшафтах бассейна р. Амур (в пределах российской территории) // Геохимия ландшафтов и география почв: Докл. Всерос. Научн. Конф. (к 100-летию М.А. Глазовской) М., 2012. С. 215–218.

Mahinova A.F., Mahinov A.N. Ermoshin V.V. Osnovnye geohimicheskie potoki v landshaftah bassejna r. Amur (v predelah rossijsk jterritorii) // Geohimija landshaftov i geografija pochv: Dokl. Vseros. Nauchn. Konf. (k 100-letiju M.A. Glazovskoj) M., 2012. S. 215–218 (in Russian).

10. *Новороцкий П.В.*Климатические изменения в бассейне Амура за последние 115 лет // Метеорология и гидрология, 2007, № 2. С. 43–53.

Novorockij P.V. Klimaticheskie izmenenija v bassejne Amura za poslednie 115 let // Meteorologija i gidrologija, 2007, № 2. S. 43–53 (in Russian).

11. *Перминова И.В.*Гуминовые вещества – вызов химикам XXI в. // Химия и жизнь, №1, 2008. С. 50–55.

Perminova I.V. Guminovye veshhestva – vyzov himikam XXI veka // Himija i zhizn', №1, 2008. C. 50–55 (in Russian).

12. *Смагин А.В.* Теория и методы оценки физического состояния почв // Почвоведение. 2003. № 3. С. 328–341.

Smagin A.V. Teorija i metody ocenki fizicheskogo sostojanija pochv // Pochvovedenie. 2003. № 3. S. 328–341 (in Russian).

13. *Труфанов А.И.* О миграции железа и марганца в зоне гипергенеза юга Дальнего Востока // природные зоны юга Дальнего Востока / Вопросы географии Дальнего Востока. Хабаровск: ХабКНИИ, 1975. Сб. 15. С. 147–154.

Trufanov A.I. O migracii zheleza i marganca v zone gipergeneza juga Dal'nego Vostoka // prirodnye zony juga Dal'nego Vostoka / Voprosy geografii Dal'nego Vostoka. Habarovsk: HabKNII, 1975. Sb. 15. S. 147–154 (in Russian).

14. *Шустов С.Б., Шустова Л.В.* Химические основы экологии М.: Просвещение. 1995. 240с.

ShustovS.B., ShustovaL.V. Himicheskieosnovyjekologii M.: Prosveshhenie. 1995. 240 s. (in Russian).

F Makhinova, A.N Makhinov. Risk assessment of soil degradation and possible soil recultivation in mining in Priokhotie region // The 14th Meeting. Sept. 14–19, 2008. V.1. 273–276.

15. *Makhinova A.F., Makhinov A.N., Kuptsova V.A., Yermoshin V.V.* Geochemical differentiation of soil in the Amur Basin (Russian Part) // Journal of Geochemical Exploration. Vol. 45. No. 6. 2013. P. 89–98.

16. *Makhinova A.F., Makhinov A.N., Kuptsova V.A., Liu Shuguang, Yermoshin V.V.* Landscape –Geochemical Zoning of the Amur Basin (Russian Territory) // Journal of Pacific Geology. Vol. 33. No. 2. 2014. P. 76–89.

17. *Senesi N., Loffredo E.* Metal Iron Complexation by Soil Humic Substance // ChemicalProcesses in Soils. Madison: Soil Science Society of America, 2005. P. 563–617.