

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Т. А. ТИМОФЕЕВА

ГЕОХИМИЯ ПОЙМЫ РЕКИ СОЖ

Практическое руководство
для студентов специальности
1-33 01 02 «Геоэкология»

2-е издание, исправленное

Минск
«Колорград»
2018

УДК 550.4:911.52/.53(476.2)(076.58)

ББК 26.30я73

T41

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук *В. В. Дробышевская*;

кандидат географических наук *А. И. Павловский*;

кафедра экологии учреждения образования

«Гомельский государственный университет

имени Франциска Скорины»

Тимофеева, Т. А.

T41 Геохимия поймы реки Сож : практическое руководство для студентов специальности 1-33 01 02 «Геоэкология» / Т. А. Тимофеева ; Мин-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. ун-т им. Франциска Скорины. – 2-е изд., испр. – Минск : Колорград, 2018. – 59 с.
ISBN 978-985-596-067-7.

Учебное пособие представляет собой собственные результаты геохимического исследования поймы реки Сож и адресовано студентам специальности 1-33 01 02 «Геоэкология» для углубленного изучения дисциплины «Геохимия и геофизика ландшафта» по темам: «Геохимические радиогеохимические и радиобиогеохимические барьеры»; «Структура геохимического ландшафта»; «Примеры применения ГИС-технологий при радиобиогеохимических исследованиях».

Одной из важнейших целей пособия являлось пробуждение интереса студентов к познавательной и научной деятельности.

УДК 550.4:911.52/.53(476.2)(076.58)

ББК 26.30я73

ISBN 978-985-596-067-7

© Тимофеева Т. А., 2018

© Оформление. ООО «Колорград», 2018

Содержание

Введение	4
Особенности формирования и структуры поймы р. Сож	5
Геохимия железа и алюминия в пойме р. Сож, как фактор, влияющий на сорбцию радионуклидов в почвах	13
Геохимические, радиогеохимические и радиобиогеохимические барьеры в пойме р. Сож	16
Примеры применения ГИС-технологий при радиобиогеохимических исследованиях	23
Список использованных источников	32
Приложение А. Почвенные разрезы основных фациальных элементов поймы реки Сож	34

Введение

Наиболее точная оценка миграционно-аккумулятивных возможностей пойменной экосистемы по отношению к различным химическим элементам может быть сделана на основе учета вероятности поверхностного перераспределения элементов и поступления их в воды поверхностного стока в связи с геоморфологическими и литологическими условиями, вероятности поступления их в грунтовый сток в связи с условиями гидрологического режима, возможности дефляционного перемещения веществ, аккумуляции радионуклидов в связи с сорбционными свойствами почв и наличием биогеохимических барьеров [1]. Геоморфологические процессы оказывают наиболее активное влияние на дифференциацию экосистем, в том числе и за счет формирования скульптуры земной поверхности. Роль рельефа особенно актуальна для пойменных экосистем Полесья в условиях техногенного загрязнения радионуклидами. Поэтому приоритетным направлением исследований на загрязнённых радионуклидами пойменных землях является комплексная оценка на уровне экосистемы с учётом геоморфологических (рельефных) условий и обязательным выделением структурных частей (фациальных элементов).

Оптимальным методом выделения структурных частей пойменной экосистемы, а также пространственной оценки распределения химических элементов (например, радионуклидов) с учётом рельефных особенностей является построение рельефных карт с использованием ГИС-технологий на основе топографической съёмки географических координат и высот над уровнем моря и последующим наложением полей радиоактивного загрязнения. ГИС-технологии объединяют традиционные операции при работе с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, который предоставляет карта. Эти возможности отличают ГИС от других информационных систем и обеспечивают уникальные возможности для её применения в широком спектре задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира. В связи со сложностью и комплексностью проблемы оценки радиэкологической ситуации на территориях, загрязнённых радионуклидами в Республике Беларусь, актуальным является вопрос применения геоинформационных систем как мощного инструмента для моделирования, управления базами данных и визуализации результатов [1], [2].

В качестве объекта исследований нами выбран один из наиболее загрязнённых участков поймы р. Сож, расположенный в окрестностях д.

Новоселки и д. Радуга Ветковского района Гомельской области. Ветковский район выбран вследствие максимальной площади загрязнения аллювиальных почв в Гомельской области (загрязнено 14 200 га пойменных угодий или 45 % от общего по области), на которых необходимо более детальное исследование для определения путей оптимизации использования как кормовой базы для животноводства. Долина р. Сож характеризуется высокой степенью радиоактивного загрязнения, начиная от г. Кричев на севере и до г. Гомель на юге. По рельефным особенностям пойменная экосистема приравнивается к низменному типу ландшафтов и включает, соответственно, аллювиально-террасированный и пойменный ПТК. В зону исследований, кроме радионуклидов первоначальных выпадений, речными водами привносятся химические элементы (в том числе радиоактивные вещества) практически со всей загрязнённой долины на протяжении года и в период паводков и половодий при затоплении поймы.

Методологическую основу исследования составляет теория биогеохимической структуры природной экосистемы и геохимических барьеров. С помощью сопряжённого анализа выделены геохимические и биогеохимические барьеры и дана оценка миграции ^{90}Sr и ^{137}Cs в компонентах экосистемы (почве, наземном покрове). На основе созданной в ходе исследования базы данных построена серия карт с использованием ГИС-технологий. Использованы методы: спектрометрический, радиохимический, инфракрасной спектроскопии и агрохимический. Фактический материал обработан с использованием математической статистики. Использован метод ландшафтного профилирования, для выделения структурно-функциональных частей ландшафтных профилей при заложении точек комплексного исследования проведена съёмка географических координат и высот над уровнем моря при помощи персонального спутникового навигатора Garmin GPS 12 XL. На исследуемом участке заложены 2 ландшафтных профиля. Структурно-функциональные части охарактеризованы 24 точками комплексного описания. Использовались пробы почв (256), растений (356), собранные в 2000-2016 гг.

Особенности формирования и структуры поймы р. Сож

Геоморфологические процессы оказывают наиболее активное влияние на дифференциацию экосистем, в том числе и за счет формирования скульптуры земной поверхности. Роль рельефа особенно актуальна для пойменных экосистем Полесья в условиях техногенного загрязнения радионуклидами. Это связано с комплексным подходом к

оценке миграции радиоактивных веществ в пойме, характеризующейся неоднородностью рельефа. Таким образом, значимая роль в развитии ландшафтно-биогеохимических условий Беларуси принадлежит рельефу, который контролирует мощность ландшафта, соотношение между геохимически автономными и геохимически подчинёнными территориями, определяет интенсивность водообмена, а значит, формирование системы миграционных потоков. Однако вопросы геохимической классификации типов рельефа и анализа рельефа как ландшафтного фактора находятся на начальной стадии исследования [1] и окончательного решения ещё не имеют. Поэтому приоритетным направлением исследований на загрязнённых радионуклидами пойменных землях является комплексная оценка на уровне экосистемы с учётом геоморфологических (рельефных) условий и обязательным выделением структурных частей (фациальных элементов).

Долина р. Сож расположена в восточной части Белорусского Полесья – обширной низинной территории на западе Русской платформы. В геолого-структурном отношении долина Сожа приурочена к Оршано-Могилёвской равнине на севере и Приднепровской низменности на юге.

Исходя из классификации ландшафтов по геохимической сопряжённости, Б. Б. Полюновым введено понятие геохимического ландшафта, представляющее совокупность сопряжённых элементарных ландшафтов, связанных между собою определёнными условиями миграции химических соединений. По характеру миграции и аккумуляции веществ пойменная экосистема относится к категории аккумулятивных ландшафтов, включающих непосредственно пойму, а также надпойменные террасы [1,2]. На исследуемом участке заложены 2 ландшафтных профиля протяжённостью 2000 и 2300 м. В пределах пойменной экосистемы профиля проходят от первой надпойменной террасы до русла р. Сож. Расстояние между профилями 1000 м. Структурно-функциональные части охарактеризованы 24 точками комплексного описания (далее – точками). Профиль № 1 (рисунок 1) на участке, используемом в сельском хозяйстве в качестве пастбища. Профиль № 2 (рисунок 2) расположен на сенокосе. Использован метод ландшафтно-геохимического профилирования, позволяющего изучать сопряженные комплексы экосистемы и их границы – области наиболее вероятного распространения геохимических барьеров.

По результатам почвенных исследований составлена карта почвенных разновидностей опытного участка (рисунок 3). На каждой точке произведено описание растительных ассоциаций и составлена геоботаническая карта данного участка (рисунок 4).

Основными ландшафтно-дифференцирующими факторами, определяющими степень биогеохимической дифференциации структурных элементов поймы, явились характер увлажнения и рельеф. По рельефным особенностям пойменная экосистема приравнивается к низменному типу ландшафтов и включает, соответственно, *аллювиально-террасированный* и *пойменный ПТК* (классификация Марцинкевич [3,4]).

В пределах пойменной (низменной) экосистемы выделен *аллювиально-террасированный ПТК* Н – класса, слабодренированный, с широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолистых временно-избыточно увлажняемых почвах, представленный первой надпойменной террасой (Т.8, 9, 24) (рисунки 3, 4). Формирование террасы связано с аккумулятивной деятельностью реки Сож в поозерское время и в начале голоцена. В строении принимают участие мелко- и тонкозернистые пески мощностью от 2 до 10 м, перекрытые водно-ледниковыми супесями. *Абсолютные отметки* поверхности первой надпойменной террасы изменяются от 130 до 136 м. Терраса возвышается над урезом воды на 8 (профиль № 2) – 15 м (профиль № 1). В структуре почвенного покрова экосистемы доминируют дерново-подзолистые супесчаные временно-избыточно увлажняемые почвы (рисунок 3), характеризующиеся сельскохозяйственной освоенностью (Т.9), заняты пашней с производственными посевами викоовсяной смеси. Встречаются залесённые участки, с участием сосны (Т.24) и ясеня (Т.8). Подлесок выражен слабо. Растительность представлена временно избыточно увлажняемыми суходолами с разнотравно-злаковой ассоциацией (рисунки 3, 4).

При продвижении от террасы к руслу реки выделен пойменный ландшафт разной степени дренированности с долгопойменными заливными лугами и сырыми лугами низкого уровня на дерново-глеевых, дерново-глееватых и торфяных почвах. Пойма хорошо сформирована, хотя ландшафт является молодым, поскольку его формирование началось во второй половине голоцена и продолжается в настоящее время. В геологическом сложении участвуют аллювиальные пески, реже супеси и суглинки, иногда перекрытые торфом. Абсолютные отметки поверхности 122–127 м, высота над уровнем воды 1–5 м. В пойменном ландшафте р. Сож колебания относительных высот определяют выделение структурных частей с дифференциацией биогеохимических условий и, соответственно, почвенно-растительного покрова. В пределах поймы выделены: *приустьевая пойма (отмель, вал)*, *старица (на границе приустьевой и центральной поймы)*, *центральная пойма (повышенная и пониженная части)*, *притеррасная пойма (Приложение А)*.

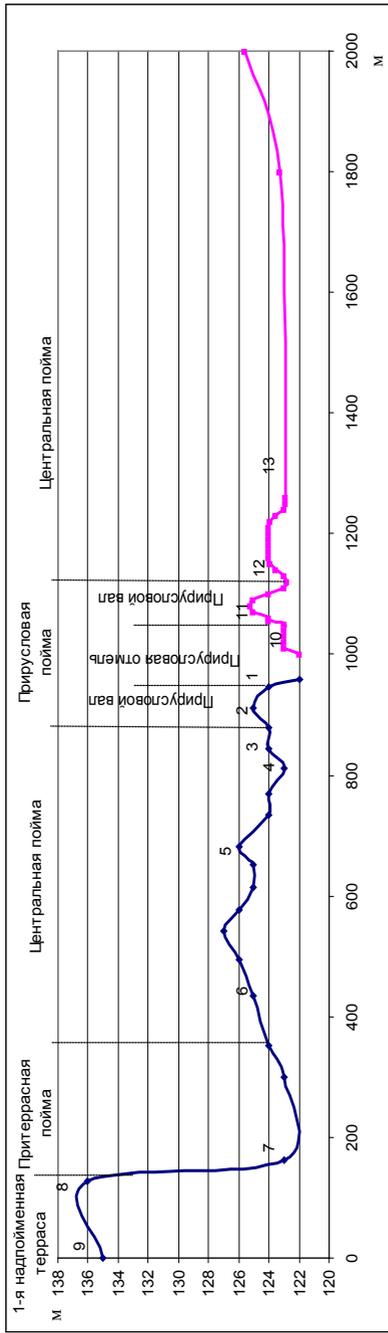


Рисунок 1. Ландшафтный профиль №1

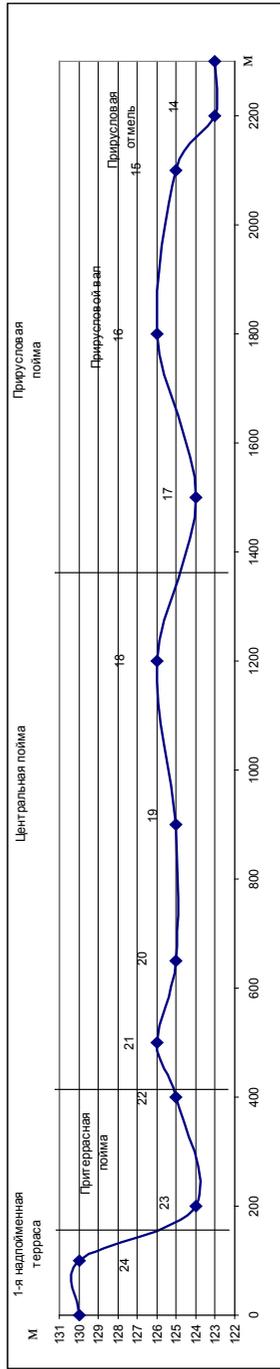


Рисунок 2. Ландшафтный профиль №2

Прирусловая пойма, являющаяся зоной активного проявления речных процессов, имеет небольшую ширину. В пределах прирусловой поймы выделяется прирусловая отмель с абсолютными отметками поверхности 122–123 м и прирусловой вал – 124–126 м. Высота над уровнем воды, соответственно, 1, 2–4 м. Здесь откладываются наиболее грубые и в большом количестве наносы песчаного и супесчаного состава, которые при повторных паводках зачастую вновь размываются и передвигаются, образуют своеобразный гривистый рельеф. Вследствие ежегодного отложения свежего наноса, приподнятости и ослабленного увлажнения летом процессы почвообразования развиваются замедленно.

Почвы прирусловой поймы характеризуются высокой водопроницаемостью и малой влагоёмкостью, развиваются слабо развитые или неразвитые слоистые почвы с малым содержанием гумуса (Приложение А) [5,6]. В профиле их отсутствует чёткая дифференциация на генетические горизонты. Вследствие неблагоприятного водного и пищевого режима эти почвы покрыты более скудной растительностью, чем почвы других частей поймы.

Для *прирусловой отмели* опытного участка характерны аллювиальные дерново-глееватые песчаные почвы (рисунок 1 – Т.1) и аллювиальные слабо развитые песчаные почвы, развивающиеся на рыхлых песках (рисунок 1 – точки исследования 1, 10, 14), занятые ивовым кустарником средней густоты (Приложение А – рисунки А1–А3).

К *прирусловому валу* приурочены долгопойменные заливные луга с аллювиально-дерново-глеевыми почвами (Приложение А – рисунки А4–А9). Здесь преобладает разнотравно-злаковая ассоциация.

Центральная пойма занимает обширные пространства и имеет сложный комплексный почвенный покров. Это связано с особенностями рельефа и характером увлажнения. Абсолютные отметки поверхности: 123–125 м на пониженных участках и старице, 126–127 м – на грядах центральной поймы.

Здесь отлагаются более тонкие взмученные частицы. В зависимости от характера весеннего половодья почва центральной части поймы состоит из слоистых и зернистых аллювиальных отложений. Зернистая пойма образуется в понижениях и старицах, где паводковые воды медленно протекают и надолго застаиваются (до 3 месяцев) [6,7].

На *старице* (рисунок 2 – точка 17) характерны долгопойменные заливные луга с аллювиальной дерново-глеевой супесчаной почвой и представлены осоковой ассоциацией (Приложение А10).

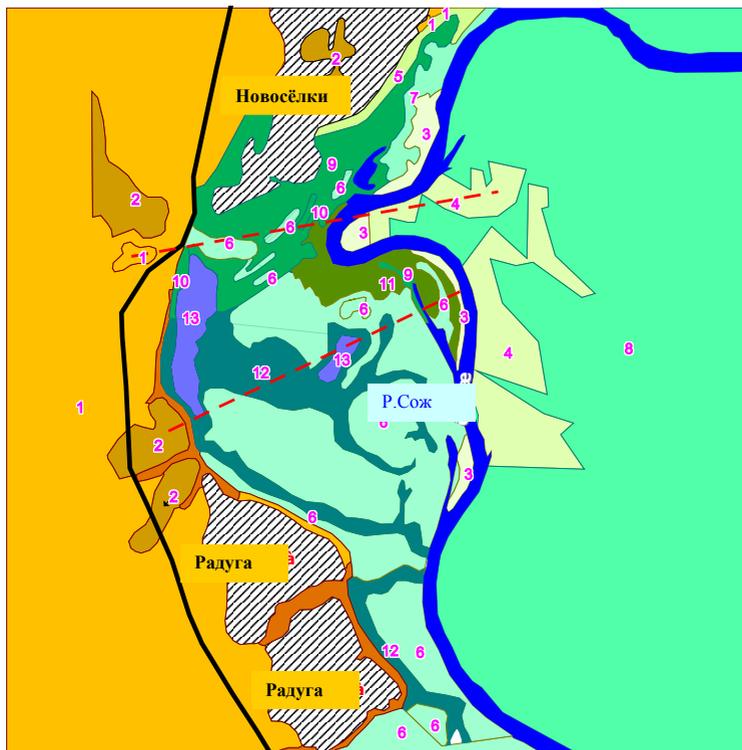


Рисунок 3. Карта почвенных разновидностей опытного участка (расположенного в окрестностях д. Новосёлки Ветковского района Гомельской области)

Легенда

- | | |
|--|---|
| | <ol style="list-style-type: none"> 1. Дерново-подзолистая супесчаная почва, развивающаяся на лёгких супесях, сменяемых моренной супесью с глубины 0,6 м. 2. Дерново-подзолистая временно избыточно увлажняемая супесчаная почва на лёгких супесях, сменяемых моренной супесью с глубины 0,5 м. 3. Аллювиальная слабообразованная песчаная почва, развивающаяся на рыхлых песках. 4. Аллювиальная дерново-глееватая песчаная почва, развивающаяся на рыхлых песках. 5. Аллювиальная дерново-глееватая песчаная почва, развивающаяся на связных песках, подстилаемых лёгким суглинком с глубины 1,3 м. 6. Аллювиальная дерново-глееватая супесчаная почва, развивающаяся на супесчаном аллювии, сменяемом рыхлыми песками с глубины 0,85м. 7. Аллювиальная дерново-глееватая песчаная почва, развивающаяся на рыхлых песках. 8. Аллювиальная дерново-глеевая песчаная почва, развивающаяся на связных песках, сменяющихся рыхлыми песками. 9. Аллювиальная дерново-глеевая супесчаная почва, развивающаяся на супесчаном аллювии, подстилаемом суглинком. 10. Аллювиальная дерново-глеевая супесчаная почва, развивающаяся на супесчаном аллювии с погребённым торфом с глубины 0,37-1,0 м. 11. Аллювиальная, дерново-глеевая слабообразованная песчаная почва, развивающаяся на рыхлых песках. 12. Аллювиальная дерново-глеевая сугглинистая почва, развивающаяся на легких суглинках, подстилаемых рыхлым песком. 13. Аллювиальная торфяная мощная почва, подстилаемая песками. <p>Населенный пункт</p> <p>Овраг</p> |
|--|---|

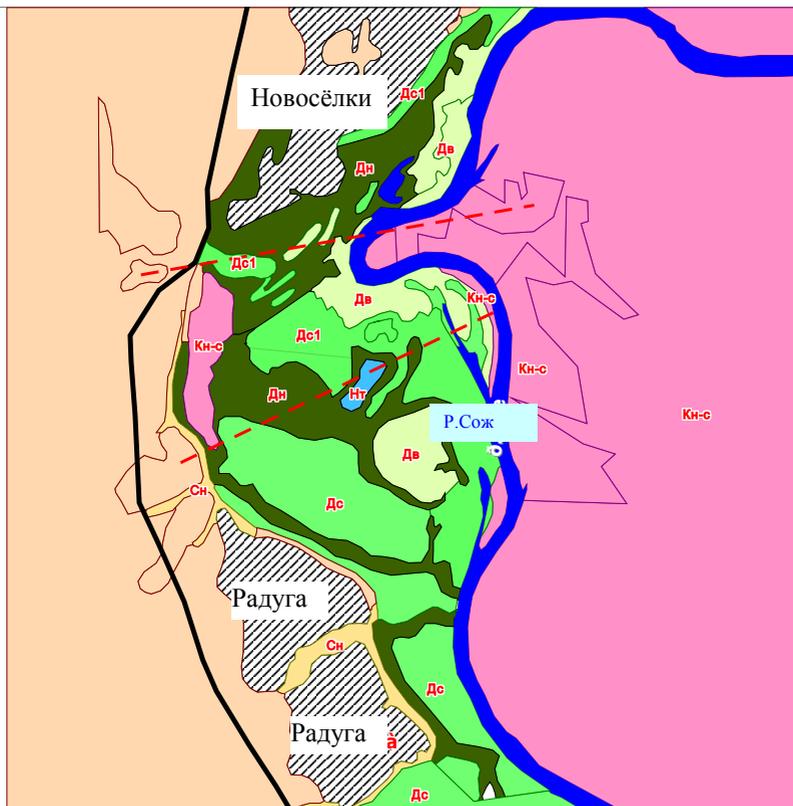


Рисунок 4. Геоботаническая карта опытного участка (расположенного в окрестностях д. Новоселки Ветковского района Гомельской области)

Легенда

- Производственные посевы.
- Дв Долгопойменные заливные луга. Булавоносец седой+очиток едкий+цмин песчаный.
- Дв1 Долгопойменные заливные луга. Овсяница овечья+костер безостый+щавель кислый.
- Населенный пункт.
- Дн Сырые луга низкого уровня. Осока пузырчатая+щучка дернистая+лютик ползучий.
- Дс Долгопойменные заливные луга. Мятлик луговой+клевер белый+кульбаба осенняя.
- Дс1 Долгопойменные заливные луга. Овсяница луговая+мятлик луговой+гусиная лапка.
- Кн-с Кустарники. Кустарник ивовый средней густоты.
- Нт Болота. Осока средняя+манник болотный+калужница болотная.
- Сн Временно избыточно увлажняемые суходолы. Мятлик луговой+овсяница красная+тысячелистник обыкновенный.

К *понижениям центральной поймы* относятся сырые луга низкого уровня с аллювиальной дерново-глеевой почвой и болота с торфяной почвой, представленные разнотравно-осоковой ассоциацией (Приложение А – рисунки А11–А15). На поверхности понижений центральной поймы остаётся слой илистых частиц, богатых органическим веществом. При подсыхании этот слой растрескивается на отдельные. Накапливаясь из года в год, такой наилок создаёт значительный слой зернистой массы, богатой органическим веществом и элементами минерального питания. В силу этого почвы зернистой поймы отличаются высоким плодородием, обеспечивающим развитие ценных луговых трав.

В относительно *повышенных местах центральной поймы*, где паводковые воды текут быстро, откладывается грубый песчаный пылеватый материал, который при ослаблении разлива перекрывается впоследствии слоями более тонких наносов (Приложение А – рисунки А16–А19).

При таком характере паводка образуется слоистая пойма. Часто такая пойма вследствие размывов и переотложения аллювиальных наносов имеет рельеф, где ложбинообразные понижения чередуются с более возвышенными вытянутыми гривами. Для верхних частей склонов грив, которые затапливаются непродолжительное время, и уровень грунтовых вод глубок, характерны долгопойменные заливные луга с аллювиальной дерново-глееватыми почвами, представленные разнотравно-злаково-бобовой ассоциацией.

К *притеррасной пойме*, которая занимает наиболее низкое положение и характеризуется абсолютными отметками 122–124 м, приурочены сырые луга низкого уровня и кустарники на аллювиально-дерново-глеевой песчаной с погребённым торфом и торфяной мощной почве и представлены разнотравно-хвощёво-осоковой ассоциацией и кустарником ивняково-ольховым средней густоты. Здесь обычно застаиваются взмученные воды с тонким глинистым материалом. Частично поступают грунтовые воды с террас, поэтому притеррасная пойма характеризуется избыточным увлажнением (Приложение А – рисунки А20, А21) [8,9].

Выводы:

➤ - В пределах пойменной (низменной) экосистемы объекта исследования выделен аллювиально-террасированный ПТК Н – класса, слабодренированный, с широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолистых временно избыточно увлажняемых почвах, представленный первой надпойменной террасой и пойменный ПТК Н-Fe класса, разной степени дренажности с долгопойменными заливными лугами и

сырыми лугами низкого уровня на дерново-глеевых, дерново-глееватых и торфяных почвах.

➤ - В экосистеме поймы колебания относительных высот определяют выделение структурных частей с дифференциацией биогеохимических условий и, соответственно, почвенно-растительного покрова. Абсолютные отметки поверхности 122–127 м, высота над уровнем воды 1–5 м. В пределах поймы выделены: прирусловая пойма (отмель, вал), старица (на границе прирусловой и центральной поймы), центральная пойма (повышенная и пониженная части), притеррасная пойма (Приложение А – рисунки А22–А24).

Геохимия железа и алюминия в пойме р.Сож, как фактор, влияющий на сорбцию радионуклидов в почвах

Миграционная активность химических элементов в экосистемах во многом обусловлена геохимическими и биогеохимическими условиями. Геохимическая обстановка в зоне гипергенеза определяется щёлочно-кислотными и окислительно-восстановительными условиями. Учитывая высокий кларк железа и лёгкую индикацию его окисленных и восстановленных соединений (смена окраски), А. И. Перельман (1972 г.) [10] положил поведение железа в основу выделения основных геохимических обстановок в ландшафте. Геохимия железа в экосистемах пойм отличается сложностью и определяется способностью изменять валентность в зависимости от физико-химических условий. Железо в аэробных условиях трёхвалентно, а в анаэробных двухвалентно. В пойменных почвах железо присутствует в виде оксидов и гидроксидов, которые связаны с поверхностью минералов. Но в горизонтах почв, богатых органическим веществом (торфяно-болотные почвы притеррасной поймы) железо находится преимущественно в хелатной форме. Так как наиболее значимые реакции в растворении почвенного железа – гидролиз и комплексообразование, минимальные содержания растворимого железа отмечаются при щелочных условиях, поэтому кислые пойменные почвы более обогащены растворимым неорганическим железом, чем нейтральные [11].

Выделение групп железа в пойменных почвах основано на учёте степени его растворимости, связи с минералами и органическими соединениями [10]. В регулярно затапливаемой пойме р. Сож выделяется несколько типов почв: аллювиальная дерново-глеевая и глееватая, аллювиальная слабообразованная песчаная почва, аллювиальная торфяная и

торфяно-болотная и дерново-подзолистая временно-избыточно-увлажнённая почва.

Каждому типу пойменных земель свойственны своё строение профиля и характерные морфологические признаки, что в свою очередь обуславливает их химические свойства и направленность геохимических процессов [10]. В ландшафтах Полесья преобладает окислительная и окислительно-глеевая обстановка, кислый (H) и кислый глеевый (H Fe) классы. В условиях поймы р. Сож окислительная обстановка морфологически определяется по господствующей в почвах и породах жёлтой, красной, красно-бурой окраске, где соединения трёхвалентного железа преобладают над двухвалентным [таблица 1].

Таблица 1. Распределение Fe и Al в основных типах почв поймы р. Сож

Структурная часть поймы	Тип почвы	Fe ²⁺ , %/100	Fe ³⁺ , %/100	Fe ₂ O ₃ , мг/кг	Al ³⁺ (подв.) Ммоль/100г
Прирусловая отмель	T.1. Аллювиальная дерново-глеяеватая песчаная почва	25,0	69,0	94,0	0
	T.10. Аллювиальная слабообразованная песчаная почва	0	44,0	44,0	0
	T.14. Аллювиальная слабообразованная песчаная почва	0	77,7	77,7	0
	T.2. Аллювиальная дерново-глеяевая слабообразованная песчаная почва	85,0	225,6	310,6	0,001
Старица	T.11. Аллювиальная дерново-глеяевая песчаная почва	95,0	115,5	210,5	0
	T.12. Аллювиальная дерново-глеяеватая песчаная почва	86,0	214,9	300,9	0
	T.15. Аллювиальная дерново-глеяевая песчаная почва	88,0	300,2	388,2	0,001
	T.16. Аллювиальная дерново-глеяеватая песчаная почва	85,0	161,2	246,2	0
	T.17. Аллювиальная дерново-глеяевая супесчаная почва	124,0	200,1	324,1	0,004
	T.3. Аллювиальная дерново-глеяевая супесчаная почва	450,0	200,1	650,1	0,001
	T.4. Аллювиальная дерново-глеяевая супесчаная почва	463,1	233,0	696,1	0,001
	T.5. Аллювиальная дерново-глеяеватая супесчаная почва	438,0	186,0	624,0	0
	T.19. Аллювиальная дерново-глеяевая супесчаная почва	370,0	269,7	639,7	0,020
T.20. Аллювиальная торфяная мощная почва	480,0	209,3	689,3	0,026	
Повышение центральной поймы	T.6. Аллювиальная дерново-глеяеватая супесчаная почва	163,0	314,2	477,2	0
	T.13. Аллювиальная дерново-глеяевая песчаная почва	250,0	400,1	650,1	0,001
	T.18. Аллювиальная дерново-глеяеватая супесчаная почва	125,0	181,1	306,1	0,006
	T.21. Аллювиальная дерново-глеяеватая супесчаная почва	155,0	330,0	485,3	0,240
Пригтеррасная пойма	T.7. Дерново-глеяевая песчаная почва	363,0	145,2	508,2	0
	T.22. Аллювиальная торфяная мощная почва	400,0	273,9	673,9	0,001
	T.23. Аллювиальная торфяная маломощная почва	358,0	194,2	552,2	0,001
Первая надпойменная терраса	T.8. Дерново-подзолистая временно избыточно увлажняемая супесчаная почва (естественные угодья)	65,0	107,0	172,0	0
	T.24. Дерново-подзолистая временно избыточно увлажняемая супесчаная почва (естественные угодья)	50,0	132,0	182,5	0
	T.9. Дерново-подзолистая супесчаная почва (пашня)	55,0	180,5	232,5	0

Это характерно для первой надпойменной террасы (ТТ. 8, 9, 24), прирусловой поймы (ТТ. 1, 2, 10, 11, 12, 14, 15, 16) и старицы на границе прирусловой и центральной частей поймы (Т.17). Типоморфный элемент – свободный кислород. Катиогенные элементы образуют нерастворимые и слаборастворимые соединения. При рассмотрении горизонтального количественного распределения трёхвалентного железа в пойменной экосистеме его содержание варьирует от 44 до 314 ‰ (таблица 1). Можно построить следующий ряд по убыванию: понижение центральной поймы > притеррасная пойма > прирусловой вал > повышение центральной поймы > первая надпойменная терраса > прирусловая отмель. Преобладание двухвалентного железа над трёхвалентным характерно для понижений центральной и притеррасной поймы. На данных участках кислород либо отсутствует, либо замедляет процесс окисления. При участии микроорганизмов, которые изменяют органическое вещество в условиях анаэробнозиса, здесь развивается глеевый процесс. Восстанавливаются химические элементы с переменной валентностью, причём катиогенные элементы характеризуются большей миграционной активностью [2]. Количественное содержание двухвалентного железа варьирует от 0 до 480 ‰ в зависимости от фациального элемента поймы. В латеральном распределении фациальный ряд по убыванию аналогичен ряду трёхвалентного железа.

Общее содержание обменного железа в пойме р. Сож варьирует в среднем от 80 на аллювиальной слаборазвитой песчаной почве прирусловой отмели до 696 мг/кг в аллювиальной дерново-глеевой почве понижений центральной поймы. Ряд по убыванию выглядит следующим образом: понижение центральной поймы > притеррасная пойма > повышение центральной поймы > прирусловой вал > первая надпойменная терраса > прирусловая отмель. По мнению Кузнецова и Генераловой [10], гидроксиды железа являются хорошим сорбентом ^{90}Sr , что предполагает невысокое значение КП ^{90}Sr наземным покровом понижений центральной и притеррасной поймы и высокие КП на прирусловой отмели.

Алюминий является типоморфным элементом ландшафтов Беларуси. В осадках речных долин распределение аморфного Al_2O_3 подчинено рядам (среднее на прокалённую навеску, %): литологическому – пески (0,11) – супеси (0,23) – суглинки (0,34) – илы (0,87); фациальному – русловые (0,31) – пойменные (0,43) илы и русловые (0,04) – старичные (0,10) – пойменные (0,17) пески; гипергенных минералов – окислы железа (0,23) – глинистые минералы (0,32) – фосфаты (0,39) [12]. В пойменных почвах содержится от 0,03 до 0,3 при среднем 0,1 % аморфного глинозёма в зависимости от их типа, их фациальной принадлежности и т. д.

Экспериментальные наблюдения других авторов [14] показали, что радиоизотопы при вторичной миграции могут накапливаться на аморфных гидрооксидах алюминия и алюмосиликатах. При концентрации радиоизотопов 250 Бк/л один грамм боксита, каолина и аморфного оксида практически полностью фиксируют радиостронций (до 90 %), а радиоцезий поглощается бокситом на 60 %, алюмокремнистый гель и каолин сорбируют его на 40–45 %. Учитывая высокие сорбционные свойства коллоидных соединений алюминия, очевидно, что их гипергенные образования выступают геохимическим барьером на пути миграции радиоизотопов, являются фактором самоочищения природных вод и почв [13]. В пойме р. Сож содержание подвижного алюминия в верхних почвенных горизонтах в среднем 0,001 Ммоль/100г. Причём на прирусловой отмели и первой надпойменной террасе Al^{3+} не обнаружен. Максимальное содержание алюминия приурочено к центральной пойме (повышенная > пониженная) и старице.

Геохимические, радиогеохимические и радиобиогеохимические барьеры в пойме р. Сож

Речные долины являются своеобразным геохимическим барьером на пути миграции химических веществ, где аккумулируется повышенное содержание макро- и микроэлементов. Запас химических элементов в поймах (трансупераквальных ландшафтах) в несколько раз выше по сравнению с водораздельными территориями. Миграционная активность химических элементов здесь во многом обусловлена геохимическими и биогеохимическими условиями. Поймы относятся к динамичным типам ландшафтов из-за ежегодного затопления и перераспределения вещества дождевыми и паводковыми водами, поэтому необходима оценка миграции химических веществ для каждой части поймы (фациального элемента). Геоморфологические процессы оказывают наиболее активное влияние на дифференциацию речных долин. Они формируют макро-, мезо- и микроформы рельефа, элементарные участки, различающиеся по взаимному расположению, относительной высоте, экспозиции, крутизне и форме склона. Каждому фациальному элементу отвечает определенная совокупность условий местообитания, и все они в той или иной мере связаны определенными потоками энергии и веществ. Поэтому биогеохимические исследования речных долин необходимо проводить с учётом рельефных особенностей экосистемы поймы, начиная от генетического типа рельефа и до его элементов (террасы, притеррасные поймы, гряды и ложбины центральной поймы и т. д.).

Учение о геохимических барьерах разработано А. И. Перельманом. *Геохимические барьеры* – это участки резкой смены геохимической обстановки, которая приводит к осаждению мигрирующих химических элементов. Геохимические барьеры в ландшафте рассматривают как педогеохимические поля, в пределах которых идет аккумуляция химических элементов, обусловленная свойствами почв и направлением почвообразующих процессов.

Формирование барьеров также связано с изменениями физико-химических условий, в которых многие элементы теряют свою подвижность за счет образования труднорастворимых соединений. Формирующиеся минералы влияют на ландшафтно-геохимическую среду и протекающие в ней процессы, в значительной мере определяя ее эволюцию. Развивающиеся во времени почвенно-геохимические барьеры занимают в ландшафте определенное пространство в соответствии с рельефом, пестротой почвообразующих пород и другими факторами почвообразования. Методы ландшафтно-геохимического профилирования позволяют выделять барьеры в тенденции развития аккумулятивно-направленных процессов в ландшафтах, отражают эволюционные изменения их вещественного состояния.

В трассупераквальных (пойменных) ландшафтах Республики Беларусь встречается широкий спектр латеральных и радиальных геохимических барьеров.

В пределах поймы реки Сож выделены:

- *приусловая пойма (отмель, вал)*. Почвенный покров приусловой отмели представлен: аллювиальными дерново-глееватыми песчаными почвами на участках, покрытых растительностью, и аллювиальными, слаборазвитыми песчаными почвами на участках без растительности (пляж); почвенный покров приуслового вала представлен: аллювиальными дерново-глеевыми слаборазвитыми песчаными почвами;

- *старица (на границе приусловой и центральной поймы)* представлена аллювиальной дерново-глеевой супесчаной почвой;

- *центральная пойма (повышенная и пониженная части)* – на повышениях развиты аллювиальные дерново-глееватые супесчаные почвы; пониженные участки представлены аллювиальными торфяными мощными и аллювиальными дерново-глеевыми супесчаными почвами;

- *притеррасная пойма* представлена аллювиальными дерново-глеевыми супесчаными, аллювиальными торфяными мощными и аллювиальными торфяными маломощными почвами;

- *первая надпойменная терраса*: дерново-подзолистые временно избыточно увлажняемые супесчаные почвы (естественные угодья) и дерново-подзолистые супесчаные почвы (пашня).

Латеральные барьеры формируются в сопряженных ландшафтах на границе контрастных геохимических обстановок между элементарными ландшафтами при миграции химических элементов и их соединений в близком к горизонтальному (латеральному) направлению, т. е. в системах «элювиальный ландшафт – супераквальный ландшафт», в каскадных системах водосборных бассейнов.

Латеральные барьеры поймы р. Сож

Кальциевый (карбонатный или нейтральный) геохимический барьер.

На объекте исследования участки с кальциевыми барьерами выделены в пределах притеррасной и центральной поймы (рисунок 1).

Для восстановительной глеевой обстановки в сочетании с различной реакцией среды характерны типоморфные элементы окислительной обстановки и как индикатор глеевого процесса присоединяется ион двухвалентного железа. Поэтому на пойме, в местах развития глеевого процесса и кислой реакции почвы, характерен кислый глеевый класс (H, Fe). При нейтральной реакции раствора образуется карбонатный глеевый класс (Ca, Fe). Участки с кислым кальциевым и карбонатным глеевыми классами водной миграции создают условия для образования так называемых нейтральных, или кальциевых, барьеров в пойме, что способствует накоплению радионуклидов в почве на данных участках совместно с Ca, и Fe.

На кальциевом барьере осаждаются прежде всего химические элементы второй группы таблицы Менделеева, Mg, Ca, ^{90}Sr . На кальциевом барьере с увеличением концентрации Ca в почве снижается поступление радионуклида ^{90}Sr в растения, аналогично действует кальциевый (карбонатный) барьер на другие элементы второй группы. Радиоактивный стронций по своим свойствам близок к кальцию, а радиоактивный цезий – к калию, поэтому в почве наблюдается некоторое сходство в поведении данных элементов. Помимо этого, в нейтральных и слабощелочных условиях ряд тяжелых металлов теряет свою подвижность и доступность для растений.

Содержание обменного кальция в почвах поймы р. Сож варьирует в среднем от 300 до 3100 мг/кг. Кальций играет большую роль в закреплении гумусовых веществ, т. к. почвы, насыщенные им, имеют нейтральную реакцию, которая благоприятна для развития микроорганизмов. Построен следующий ряд по убыванию кальция: притеррасная пойма > центральная пойма (пониженная > повышенная) > первая надпойменная терраса (естественные угодья > пашня) > старица > вал > отмель. В пойме р. Сож кальций занимает первое место среди поглощённых катионов.

Распределение магния в пойме несколько отличается от предыдущих элементов. Значения варьируют примерно от 30 до 340 мг/кг. Максимальная величина на заболоченных участках понижений центральной поймы. Довольно высокие значения, около 250–270 мг/кг, характерны для первой надпойменной террасы. Минимальные значения на прирусловой пойме (вал > отмель) и старице. Обменные катионы Mg^{2+} , в основном входящие в состав гидрослюд, обладают способностью вступать в обмен с ионами ^{137}Cs и снижать их доступность растениям.

Механический и сорбционный латеральные барьеры.

Механические барьеры чаще всего совпадают с сорбционными. Но на нашем объекте исследования на границе прирусловой и центральной пойм выделен отдельно механический геохимический барьер. На участках первой надпойменной террасы и притеррасной поймы встречаются сорбционные барьеры. На повышениях и понижениях центральной поймы выделены комплексные барьеры (механический + сорбционный). Механические барьеры возникают в результате резкого снижения механической миграции вещества и определяются плотностью пород. Резкий переход от песчаных к супесчаным почвам на границе прирусловой и центральной пойм, нанос и отложение песчаного материала во время половодий и паводков определили формирование механического барьера на прирусловом валу, который может сорбировать радионуклиды в почве, совместно с Fe (рисунок 5). В то же время прирусловая пойма характеризуется низкими агрохимическими показателями, преобладанием Фк над Гк, что предполагает высокую миграционную способность химических элементов, в том числе радионуклидов на данном участке поймы.

На механических барьерах часто определяется высокое содержание коллоидных частиц и физической глины. Поэтому механические барьеры обычно сочетаются с сорбционными. Коллоидные минеральные частицы имеют преимущественно отрицательный заряд, что способствует сорбции и концентрации катионов. Дополнительное наличие органомного сорбционного барьера (гумуса) создает предпосылки для сорбции и концентрации широкого спектра катионогенных и анионогенных элементов.

Сорбционный геохимический барьер встречается в пойме повсеместно. Выражен на сильно гумусированных почвах с высоким содержанием физической глины. Сорбируются практически все химические элементы, встречающиеся в растворе в ионной форме, особенно с активной водной миграцией ($Kx > 1$) – неметаллы, щелочные и щелочноземельные элементы. С сорбцией связывают буферную емкость ландшафта. Чем она выше, тем больше будет задерживаться токсических

элементов и соединений. Однако часть из них будет находиться в обменной форме и может поступать в биологические объекты. Поэтому сорбция лишь частично может выполнять роль регулятора оптимальных условий жизни. Ее может дополнять биологический барьер – выращивание растений-концентраторов определенных металлов.

При характеристике гранулометрического состава аллювиальных почв поймы можно отметить несколько особенностей: аллювиально-дерновые почвы прирусловой и повышенной центральной поймы и первой надпойменной террасы имеют преимущественно песчано-супесчаный состав, а ближе к понижениям центральной и притеррасной части почвы чаще суглинистые или аллювиально-болотные.

В гумусово-аккумулятивном горизонте почв поймы минимальные средние величины физической глины (0–4,5 %) приурочены к прирусловой (вал > отмель) и притеррасной поймам. Максимальное количество физической глины (до 11–13 %) характерно для почвенного покрова старицы и центральной поймы (повышения > понижения). Это позволяет выделить сорбционные барьеры на старице, а также в центральной пойме (более выраженные на границе между повышенной и пониженной частями). На останцах первой надпойменной террасы локально выделяется сорбционный барьер. Здесь развиваются старопойменные почвы, которые заливаются полыми водами один раз в 20–30 лет. Характерной особенностью таких почв является мощный гумусовый горизонт, высокое содержание физической глины (около 12 %) и пойменная дифференциация почвенного профиля с резкой сменой гранулометрического состава слоёв почвообразующих пород, что свидетельствует о влиянии аллювиальных вод на формирование почв в прошлом, тогда как в настоящее время они уже вышли из режима поемости.

Комплексные барьеры трансупераквальных ландшафтов (механические + сорбционные) характеризуются повышенным накоплением железа и алюминия. Общее содержание обменного железа в пойме р. Сож варьирует в среднем от 80 на аллювиальной слаборазвитой песчаной почве прирусловой отмели до 696 мг/кг в аллювиальной дерново-глеевой почве понижений центральной поймы. Ряд по убыванию выглядит следующим образом: понижение центральной поймы > притеррасная пойма > повышение центральной поймы > прирусловой вал > первая надпойменная терраса > прирусловая отмель. По мнению Кузнецова и Генераловой [12], гидроксиды железа являются хорошим сорбентом ^{90}Sr , что предполагает невысокое значение КП ^{90}Sr наземным покровом понижений центральной и притеррасной поймы и высокие КП на прирусловой отмели.

Алюминий является типоморфным элементом ландшафтов Беларуси. Учитывая высокие сорбционные свойства коллоидных соединений алюминия, очевидно, что их гипергенные образования выступают геохимическим барьером на пути миграции радиоизотопов, являются фактором самоочищения природных вод и почв. В пойме р. Сож

содержание подвижного алюминия в верхних почвенных горизонтах в среднем 0,001 Ммоль/100г. Причём на прирусловой отмели и первой надпойменной террасе Al^{3+} не обнаружен. Максимальное содержание алюминия приурочено к центральной пойме (повышенная > пониженная) и старице.

Радиобиогеохимические (биологические) геохимические барьеры обусловлены сорбционными и комплексообразующими свойствами органического вещества почв и тяготеют к заболоченным долинам крупных рек и их притоков. На пойме реки Сож различия химического состава травостоя связаны как с произрастанием на различных частях поймы, так и с избирательной способностью растений. Кальциефильные растения поглощают больше ^{90}Sr , чем растения, бедные кальцием. Больше всего ^{90}Sr накапливают бобовые растительные ассоциации, меньше злаковые и осоковые. Растения, содержащие больше калия, больше поглощают ^{137}Cs . Установлено, что высоким суммарным биологическим поглощением химических элементов (N, K, Ca, P, Mg) характеризуются притеррасная пойма, старица и пониженные участки центральной поймы. Поэтому здесь наряду с сорбционными действуют **биогеохимические барьеры**.

Выводы.

➤ Дифференциация почвенно-растительного покрова трансупераквального ландшафта обусловила выделение геохимических и биогеохимических барьеров: механический на прирусловом валу (обусловленный резким переходом от песчаных к супесчаным почвам на границе прирусловой и центральной пойм с накоплением ^{90}Sr Fe); биогеохимические (биологические) геохимические барьеры (связанные с высоким выносом химических элементов растительным покровом) и сорбционный, обусловленный высоким содержанием физической глины и аккумуляцией ^{137}Cs , Al и K в почве на старице;

➤ Участки с комплексными (механическим + сорбционным), кальциевым и биогенным барьерами, связанными с высоким содержанием органического вещества и аккумуляцией ^{137}Cs , K, Ca, P, Fe и Mg на пониженных участках центральной поймы; комплексные (механическим + сорбционным) и нейтральные геохимические барьеры на повышениях центральной поймы, связанные с нейтральной реакцией почвенного раствора, повышенным содержанием Ca и сорбцией K, Fe, Al и Mg; сорбционный, биогенный и кальциевый барьеры на притеррасной пойме с повышенной аккумуляцией ^{90}Sr , Ca, P, Fe (в 2,3, 1,5 и 3–8 раз выше среднего по профилям); сорбционный и нейтральный геохимические барьеры с высоким содержанием физической глины (11–12%) и близкой к

нейтральной величиной рН на первой надпойменной террасе с высокой обеспеченностью Р, К, Mg (в 2, 2,2 и 1,2 выше средних показателей).

Примеры применения ГИС-технологий при радиобиогеохимических исследованиях

Трансформация ландшафтов в процессе сельскохозяйственной деятельности человека и загрязнения техногенными радионуклидами оказывает существенное воздействие на сложившиеся природные потоки вещества и энергии. Все сильнее проявляются негативные последствия техногенеза. Нередко они превосходят экологически допустимые пределы и способность экосистем к саморегуляции, что ведет к их разрушению. Наряду с локальной и региональной трансформацией геохимических потоков все отчетливее проявляются тенденции межрегиональных и глобальных изменений. Постоянная миграция, концентрация и рассеяние радионуклидов изменяют экологическую обстановку в республике, поэтому ландшафтно-биогеохимические исследования и мониторинг весьма актуальны для Полесья и других регионов Беларуси. Они позволяют решать ряд практических вопросов в области кормопроизводства, ведения личных подсобных хозяйств, а следовательно, и реабилитации местного населения.

Возросшее техногенное давление на агроэкосистемы требует более гибкого подхода к оценке объектов по их загрязнению (содержанию радионуклидов в почве, продукции, воде и т. д.). Необходима система показателей, характеризующих направленность, интенсивность и масштабы биогеохимических процессов в различных ландшафтах и их элементах (характер и скорость миграции радионуклидов в почве и за ее пределы, особенности аккумуляции на геохимических и биогеохимических барьерах). Такие динамические характеристики могут быть получены только на основе идентификации биогеохимических потоков и структурно-функциональных связей в экосистемах [14,15,16].

Наибольшее внимание, несомненно, должно уделяться почвенному покрову. Почвы выполняют в ландшафте роль своеобразной буферной системы и формируются исключительно под влиянием других компонентов ландшафта, являясь, по сути, их производной. Вследствие этого в почвенном покрове наиболее полно отражены свойства природных комплексов, их внутренние взаимосвязи и особенности миграции химических элементов [17].

Наиболее общая оценка миграционно-аккумулятивных возможностей экосистемы по отношению к ^{137}Cs и ^{90}Sr может быть сделана на основе учета вероятности поверхностного перераспределения

радионуклидов и поступления их в воды поверхностного стока в связи с геоморфологическими и литологическими условиями, вероятности поступления их в грунтовый сток в связи с условиями гидрологического режима, возможности дефляционного перемещения веществ, аккумуляции радионуклидов в связи с сорбционными свойствами почв и наличием биогеохимических барьеров.

Ранее отмечалось, что геоморфологические процессы оказывают наиболее активное влияние на дифференциацию экосистем, в том числе и за счет формирования скульптуры земной поверхности. Роль рельефа особенно актуальна для пойменных экосистем Полесья в условиях техногенного загрязнения радионуклидами. Это связано с комплексным подходом к оценке миграции радиоактивных веществ в пойме, характеризующейся неоднородностью рельефа. Таким образом, значимая роль в развитии ландшафтно-биогеохимических условий Беларуси принадлежит рельефу, который контролирует мощность ландшафта, соотношение между геохимически автономными и геохимически подчинёнными территориями, определяет интенсивность водообмена, а значит, формирование системы миграционных потоков. Однако вопросы геохимической классификации типов рельефа и анализа рельефа как ландшафтного фактора находятся на начальной стадии исследования [18,19] и окончательного решения ещё не имеют. Поэтому приоритетным направлением исследований на загрязнённых радионуклидами пойменных землях является комплексная оценка на уровне экосистемы с учётом геоморфологических (рельефных) условий и обязательным выделением структурных частей (фациальных элементов) (рисунки 6-10).

Оптимальным методом выделения структурных частей пойменной экосистемы, а также пространственной оценки распределения радионуклидов с учётом рельефных особенностей является построение рельефных карт с использованием ГИС-технологий на основе топографической съёмки географических координат и высот над уровнем моря и последующим наложением полей радиоактивного загрязнения. ГИС-технологии объединяют традиционные операции при работе с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, который предоставляет карта.

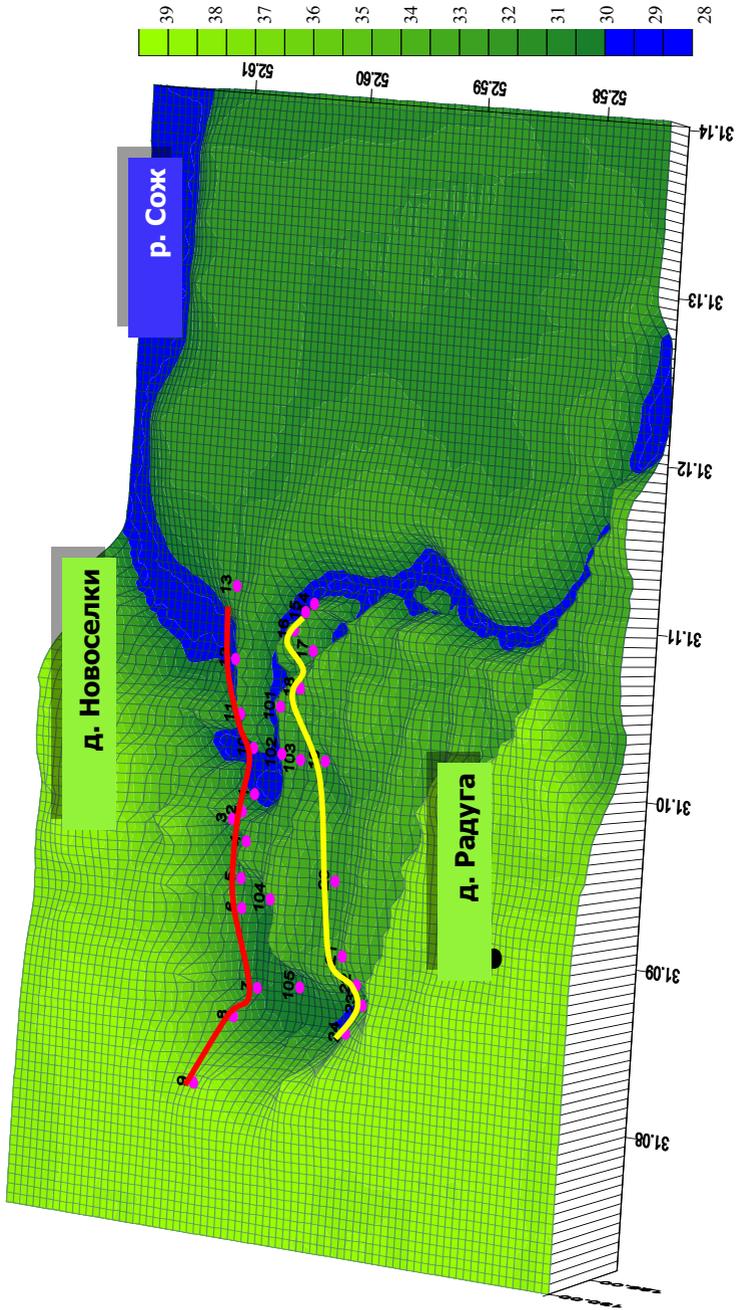
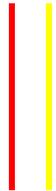


Рисунок 6. Карта-схема рельефа объекта исследования.

Профиль №1
Профиль №2



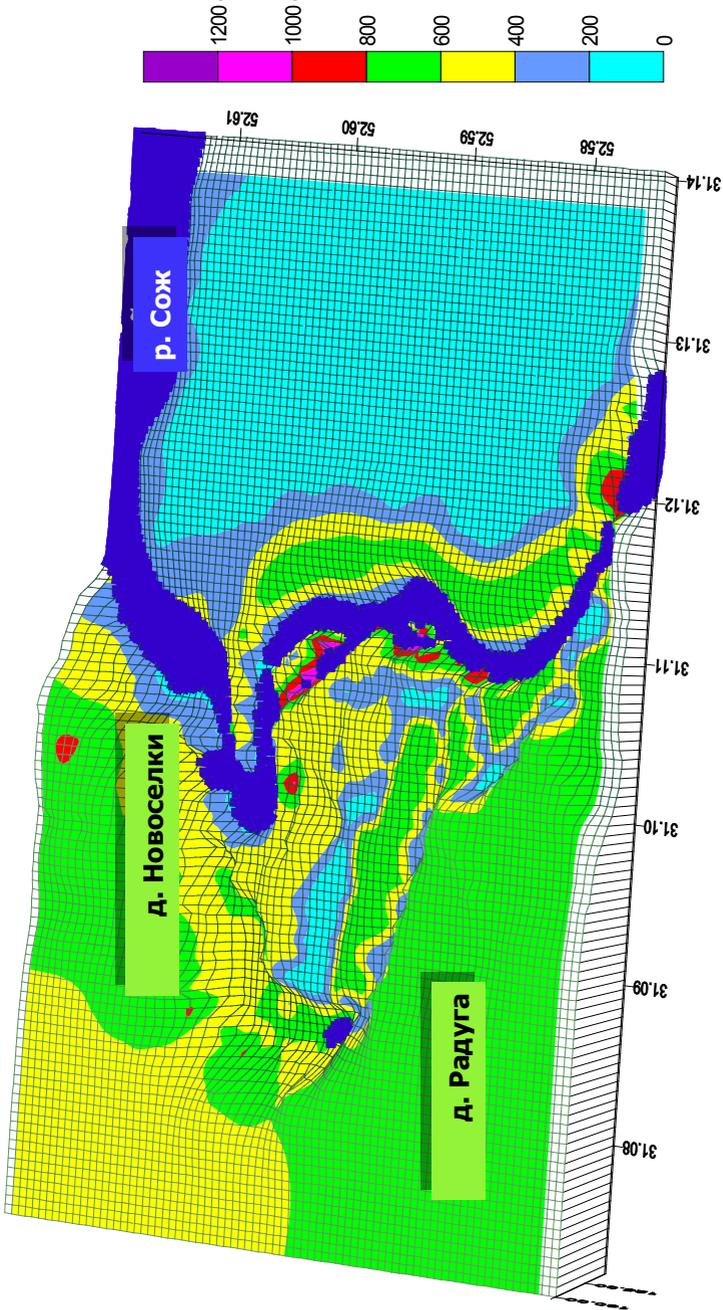


Рисунок 7. Рельефная карта-схема плотности загрязнения ¹³⁷Cs почвенного покрова объекта исследования, $\text{кг}/\text{м}^2$.

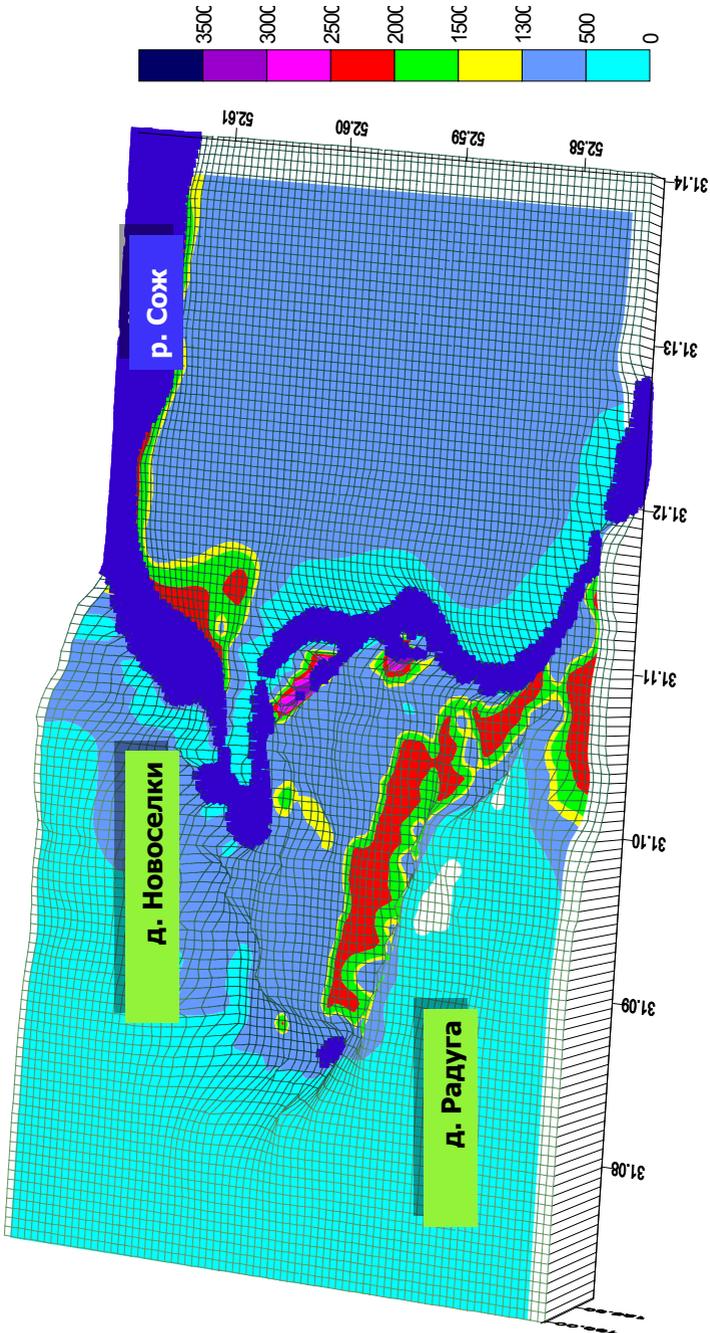


Рисунок 8. Рельефная карта-схема загрязнения ^{137}Cs наземного покрова объекта исследования, Бк/кг.

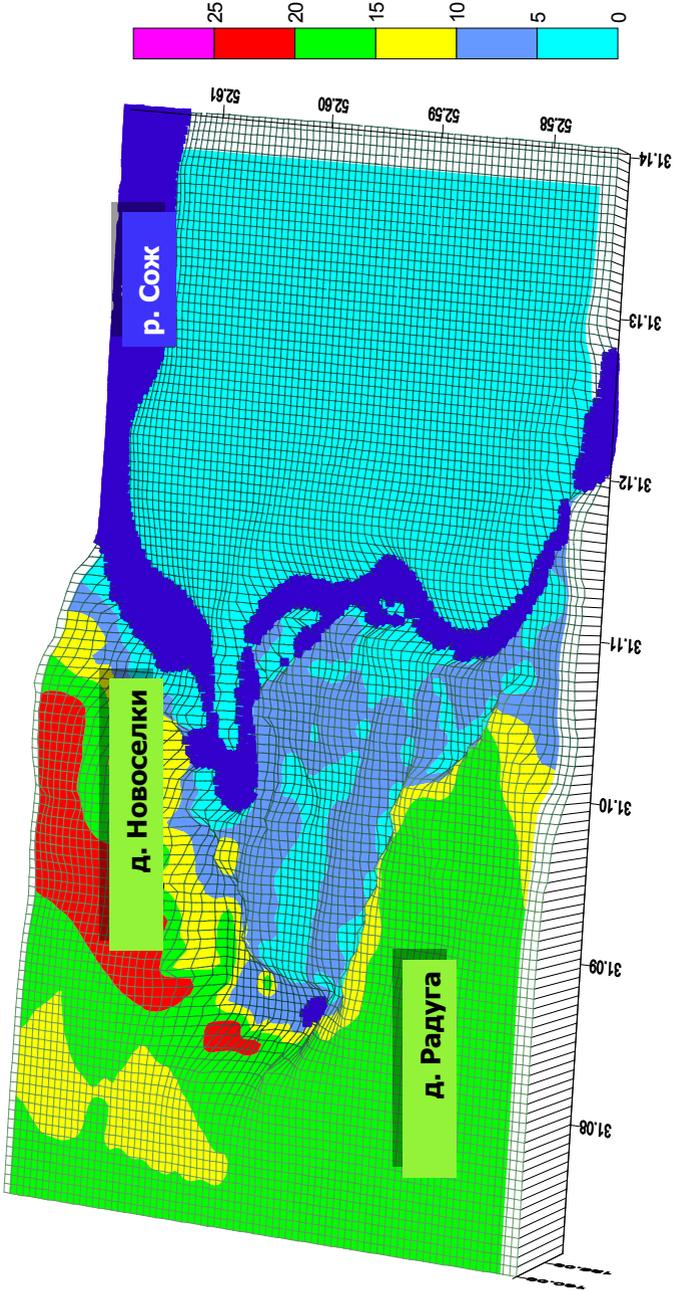


Рисунок 9. Рельефная карта-схема плотности загрязнения ^{90}Sr объекта исследования, $\text{кБк}/\text{м}^2$.

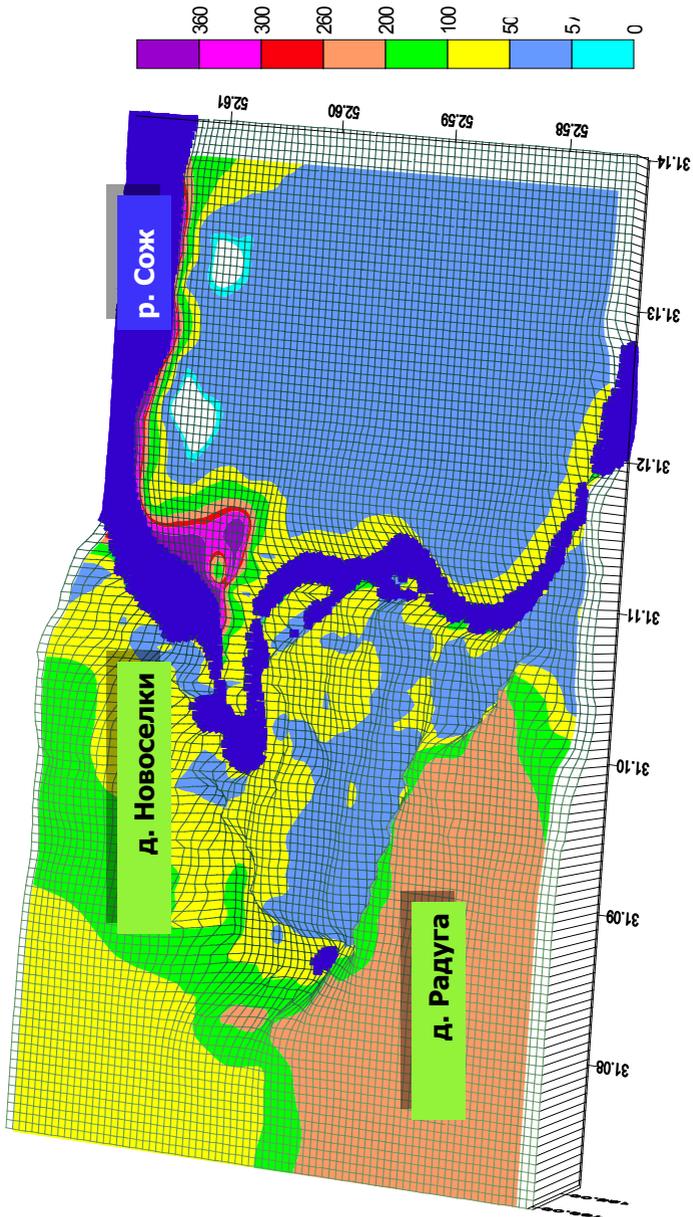


Рисунок 10. Рельефная карта-схема загрязнения ^{90}Sr наземного покрова объекта исследования

Эти возможности отличают ГИС от других информационных систем и обеспечивают уникальные возможности для её применения в широком спектре задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира. Процесс создания карт в ГИС более прост и гибок, чем в традиционных методах ручного или автоматического картографирования. Он начинается с базы данных. В любое время база данных может пополняться новыми данными, а имеющиеся можно корректировать по мере необходимости [17]. В связи со сложностью и комплексностью проблемы оценки радиэкологической ситуации на территориях, загрязнённых радионуклидами в Республике Беларусь, актуальным является вопрос применения геоинформационных систем как мощного инструмента для моделирования, управления базами данных и визуализации результатов.

Важнейшими элементами баз данных для моделирования процессов, происходящих в речных долинах, является информация о распространении, представленности, количественных и качественных характеристиках миграции радионуклидов, типах и масштабах проявления геохимических барьеров [17]. Необходима активизация работ по внедрению геохимических методов исследования пойм в систему мониторинга окружающей среды для разработки практических рекомендаций по наиболее оптимальному использованию данных ландшафтов в хозяйственной деятельности человека, прогнозу распространения радиоактивности [13].

На основе созданной в ходе исследования базы данных и топографической съёмки построена серия рельефных карт опытного участка с использованием ГИС-технологий (карта рельефа, карты плотности загрязнения почвенного покрова и удельной активности травостоя ^{137}Cs и ^{90}Sr) (рисунки 6–10).

Выводы

➤ Поймы относятся к динамичным типам экосистем из-за ежегодного затопления и перераспределения вещества дождевыми и паводковыми водами, поэтому необходима как пространственная, так и временная (по годам и сезонам) оценка дифференциации радионуклидов для каждой структурной части пойменной экосистемы.

➤ Формирование поля радиоактивного загрязнения происходит непосредственно в экосистеме и под воздействием ландшафтных факторов. Поэтому для оценки радиобиогеохимической обстановки пойм, прогноза её изменения и разработки предложений по её оптимизации необходимо проводить комплексную оценку на уровне экосистемы поймы.

➤ Оптимальным, но недостаточно применяемым методом выделения фациальных элементов экосистемы поймы, а также пространственной оценки распределения радионуклидов с учётом рельефных особенностей является построение рельефных карт с использованием ГИС-технологий на основе топографической съёмки географических координат и высот над уровнем моря и последующим наложением полей радиоактивного загрязнения.

➤ Недостаточно фактических сведений о распространении, представленности, количественных и качественных характеристиках миграции, типах и масштабах проявления геохимических и биогеохимических барьеров в речных долинах. Необходима постановка работ по исследованию ландшафтных условий, способствующих изменению миграционной активности химических элементов, в том числе и радионуклидов.

Список использованных источников

1. Геохимия ландшафта : учеб. пособие для студентов вузов по геологическим специальностям / Н. К. Чертко [и др.]; под ред. Н. К. Чертко; М-во образования РБ. – 2-е изд., перераб. и доп.– Минск: БГУ, 2011. – 303 с.
2. Геохимическое изучение ландшафтов Белоруссии: сб. / ред. К. И. Лукашев; АН БССР, Ин-т геохимии и геофизики. – Минск : Наука и техника, 1984. – 121 с.
3. Марцинкевич, Г. И. Общее ландшафтоведение: учебно-методическое издание: практикум для студентов географич. специальностей вузов / Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастливая. – Минск : БГУ, 2003. – 100 с.
4. Марцинкевич, Г. И. Ландшафтоведение: учебное пособие / Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастливая. – Минск: ИБЦ Минфина, 2014. – 288 с.
5. Структура и морфогенез почвенного покрова в условиях антропогенного воздействия: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 17–20 сент. 2013 г. / редкол.: И. И. Пирожник (гл. ред.), Н. В. Клебанович (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2013. – С. 280–283.
6. Руева, М. Н. Река Сож / М. Н. Руева. – Гомель, 1985. – 115 с.
7. Яцухно, В. М. Подходы к изучению территориальных структур ландшафтов для оптимизации природопользования : Вестник БГУ. Серия 2 / Яцухно, В. М., В. М. Яцухно, В. А. Бакарасов. – 2013. – 2 с.
8. Счастливая, И. И. Общее ландшафтоведение: Курс лекций для студ. геогр. спец. вузов. / И. И. Счастливая. – Минск : УО «БГУ», 2002. – 90 с.
9. Перельман, А. И. Геохимия / А. И. Перельман. – М.: Недра, 1979. – 415 с.
10. Чертко, Н. К. Геохимия ландшафта: учеб. пособие / Н. К. Чертко. – Минск: БГУ, 1981. – 254 с.
11. Кузнецов, В. А., Генералова, В. А. Исследование сорбции и десорбции цезия-137 и стронция-90 на железомарганцевых барьерах // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза: Тез. докл. м-нар. симпоз., Москва 4-5 окт. 1999 г./ Российская акад. наук. – М., 1999. – С. 122–123.
12. Бронева, В. А., Михайлов, Б. М. К геохимии алюминия в зоне гипергенеза/ В. А. Бронева, Михайлов, Б. М. // Литология и полезные ископаемые.–1970.– №6.–С.8–23.
13. Кузнецов, В. А., Генералова, В. А. Коллоидные соединения алюминия и радиоизотопы в ландшафтах Беларуси / В. А. Кузнецов, В. А. Генералова // Літасфера. – 1998. – № 8, – С. 83–86.

14. 2 Тимофеева, Т. А. Способы оптимизации использования естественных кормовых угодий пойменных ландшафтов, загрязненных радионуклидами / Т. А. Тимофеева. Агрохимический вестник, № 5. – Москва. – 2016. – С. 14–20

15. 3 Геохимические исследования ландшафтов Белоруссии и Прибалтики : сб. науч. тр. / ред. К. И. Лукашев; АН БССР, Ин-т геохимии и геофизики. – Минск : Наука и техника, 1989. – 125 с.

16. Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах : / А. Л. Воробьева [и др.] ; под ред. М. А. Глазовской. – Москва : Изд-во МГУ, 1983. – 195 с.

17. Андрушко, С. В. Исторические аспекты антропогенного воздействия на ландшафты юго-востока Беларуси : Природные ресурсы / Андрушко, С. В., С. В. Андрушко, А. П. Гусев. – 2011. – 2 с.

18. Аношко, В. С. Инженерная география с основами прогнозирования : пос. для студ. геогр. спец. вузов / В. С. Аношко. – Минск : БГУ, 2002. – 207 с.

19. Голованов, А. И. Ландшафтоведение : учебник для студ. вузов по специальности «Природообустройство» / А. И. Голованов, А. И. Голованов, Е. С. Кожанов, Ю. И. Сухарев; М-во с.-х. РФ. – Москва : Колос, 2007. – 216 с.

20. Казаков, Л. К. Ландшафтоведение с основами ландшафтного планирования : учеб. пособие для студентов вузов специальности «Садово-парковое и ландшафтное строительство» направления подготовки «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство» / Л. К. Казаков, УМО РФ. – 2-е изд., испр. – Москва : Академия, 2008. – 336 с.

Приложение А (обязательное)

Почвенные разрезы основных фациальных элементов поймы реки Сож

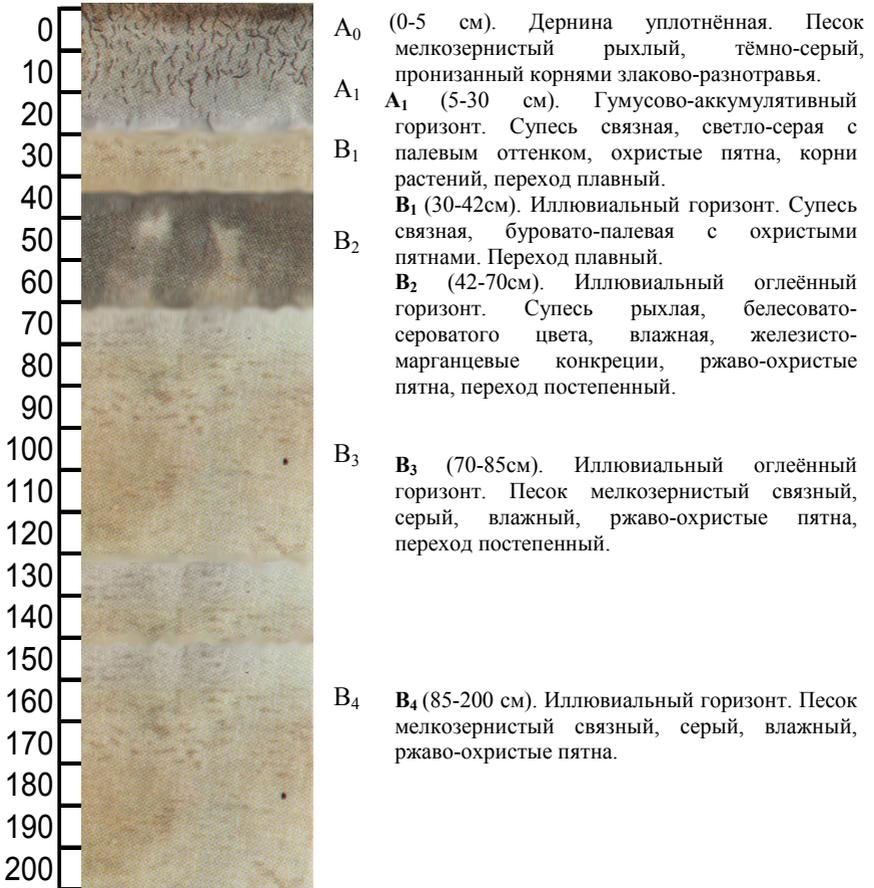
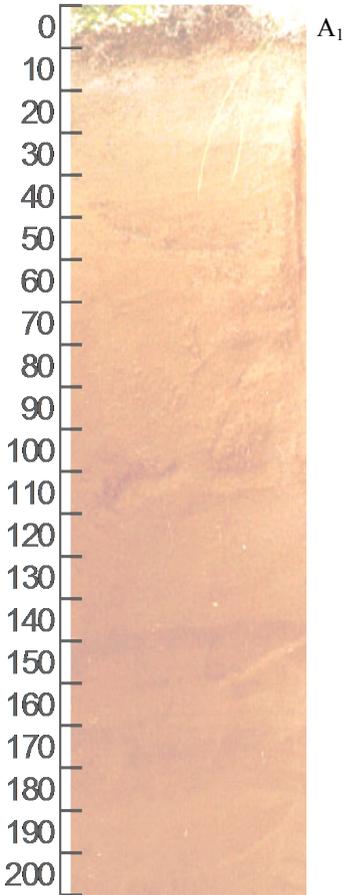


Рисунок А1. Прирусловая отмель (точка 1 на профиле).

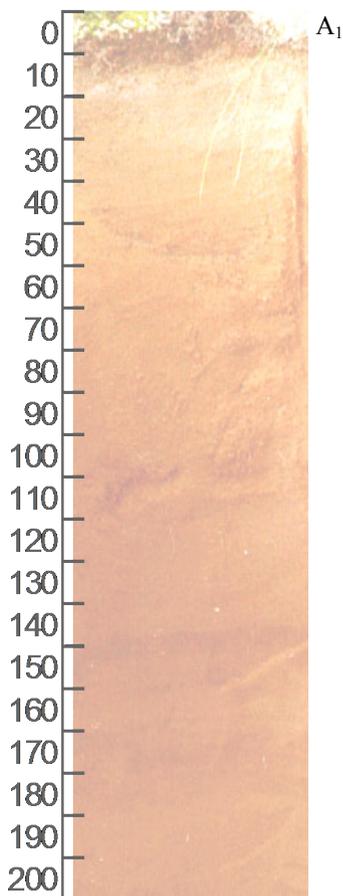
Тип почвы: аллювиальная дерново-глеяватая песчаная почва, развивающаяся на рыхлопесчаном аллювии, подстилаемом связной супесью, сменяемой рыхлой супесью и связным песком.



A₁ (0-100 см). Гумусово-аккумулятивный горизонт. Песок мелкозернистый, рыхлый, белесовато-жёлтый, бесструктурный.

Рисунок А2. Прирусловая отмель (точка 10 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная, слаборазвитая песчаная почва, развивающаяся на рыхлых песках.



A₁ (0-100 см). Гумусово-аккумулятивный горизонт. Песок мелкозернистый рыхлый, серовато-жёлтого цвета, бесструктурный белесовато-жёлтый.

Рисунок А3. Прирусловая отмель (точка 14 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная слабообразованная песчаная почва, развивающаяся на рыхлых песках.



Рисунок А4. Прирусловой вал (точка 2 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная дерново-глеевая слаборазвитая песчаная почва, развивающаяся на связных мелкозернистых песках, сменяемых рыхлой супесью, подстилаемой лёгким суглинком и погребённым торфом.

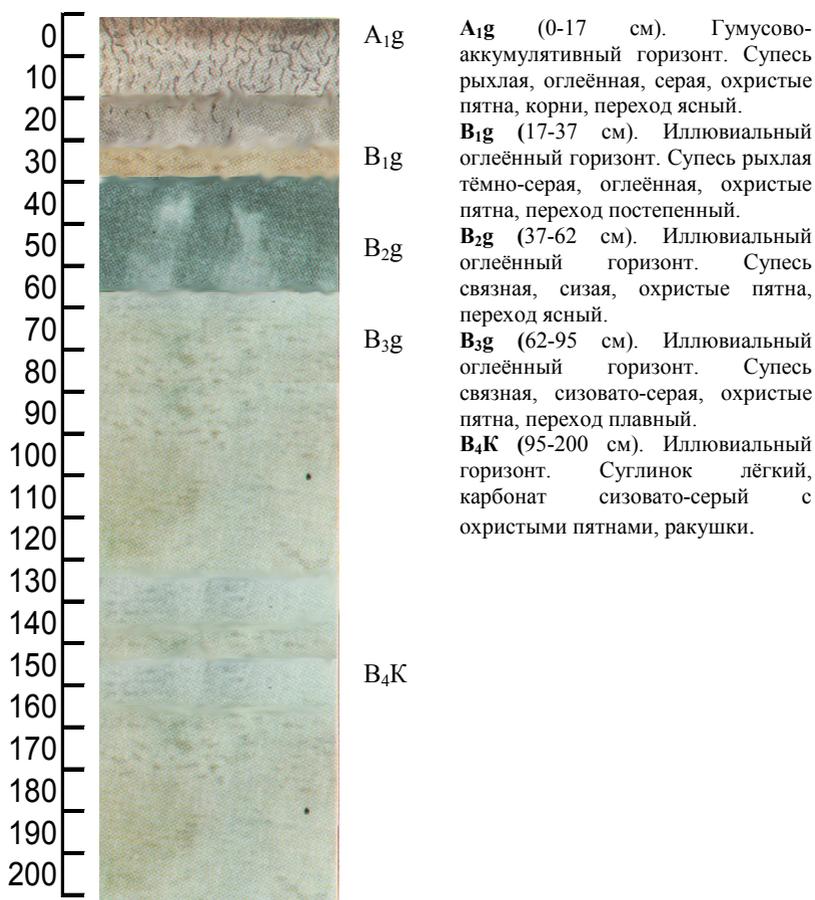
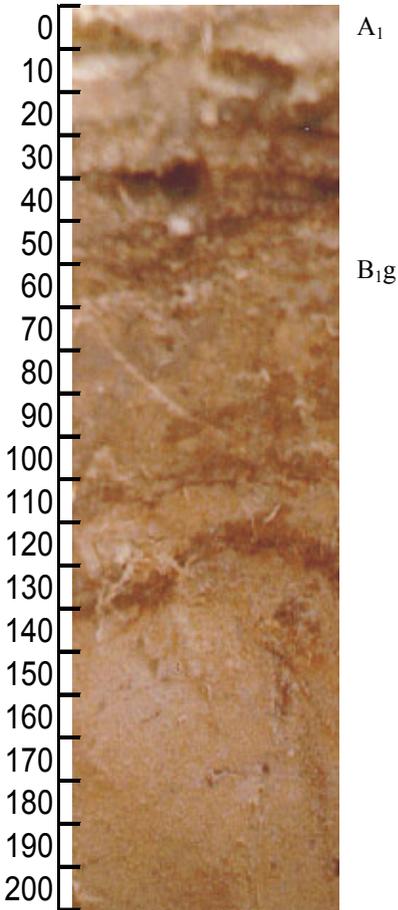


Рисунок А5. Прирусовой вал (точка 3 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная дерново-глеявая супесчаная почва, развивающаяся на рыхлом супесчаном аллювии, сменяемом связной супесью, подстилаемой лёгким суглинком.



A₁ (0-10 см). Гумусово-аккумулятивный горизонт. Песок мелкозернистый рыхлый, слоистый тёмно-серый, мелкокомковатой структуры, с корнями растений, переход ясный.

B_{1g} (10-30 см). Иллювиальный оглеённый горизонт. Песок мелкозернистый рыхлый сизовато-серый, бесструктурный, с пятнами охры, корни растений, переход постепенный.

B_{2g} (30-150 см). Иллювиальный оглеённый горизонт. Песок мелкозернистый связный белесовато-жёлтый, слоистый бесструктурный влажный с охристыми пятнами.

Рисунок А6. Прирусовой вал (точка 11 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная дерново-глеявая песчаная почва, развивающаяся на рыхлых песках, сменяемых связным песком.

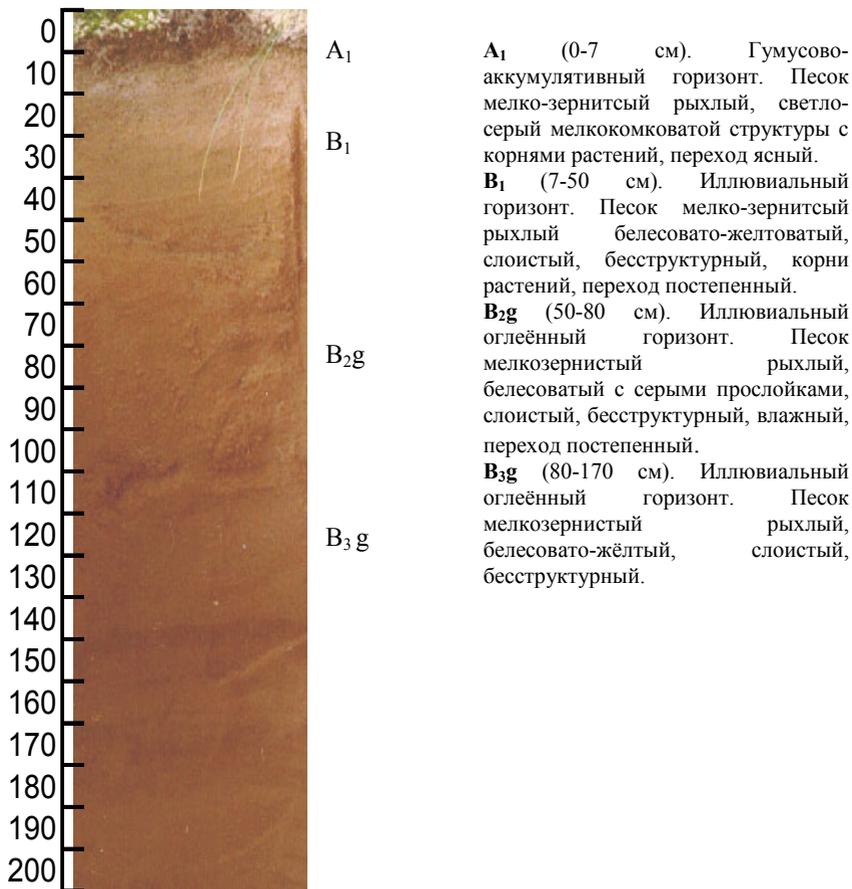


Рисунок А7. Прирусловой вал (точка 12 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная дерново-глееватая песчаная почва, развивающаяся на рыхлых песках.



Рисунок А8. Прирусловой вал (точка 15 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная дерново-глеевая песчаная почва, развивающаяся на рыхлых песках, подстилаемых связным песком, сменяемым рыхлым песком.

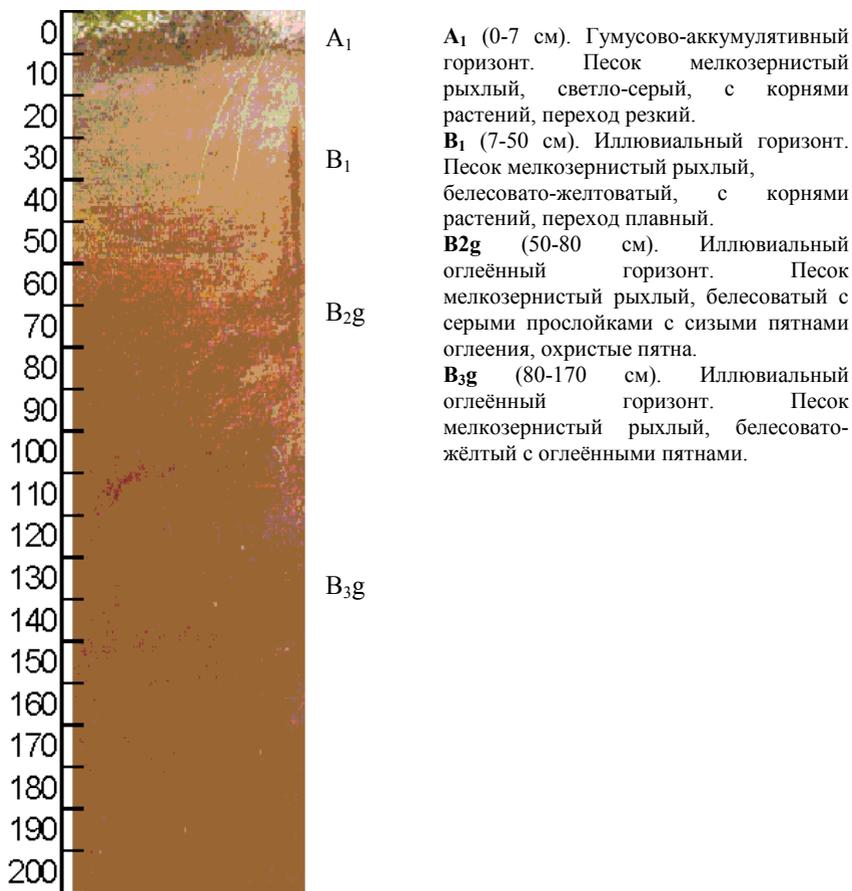


Рисунок А9. Прирусловой вал (точка 16 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная дерново-глееватая песчаная почва, развивающаяся на рыхлых песках.

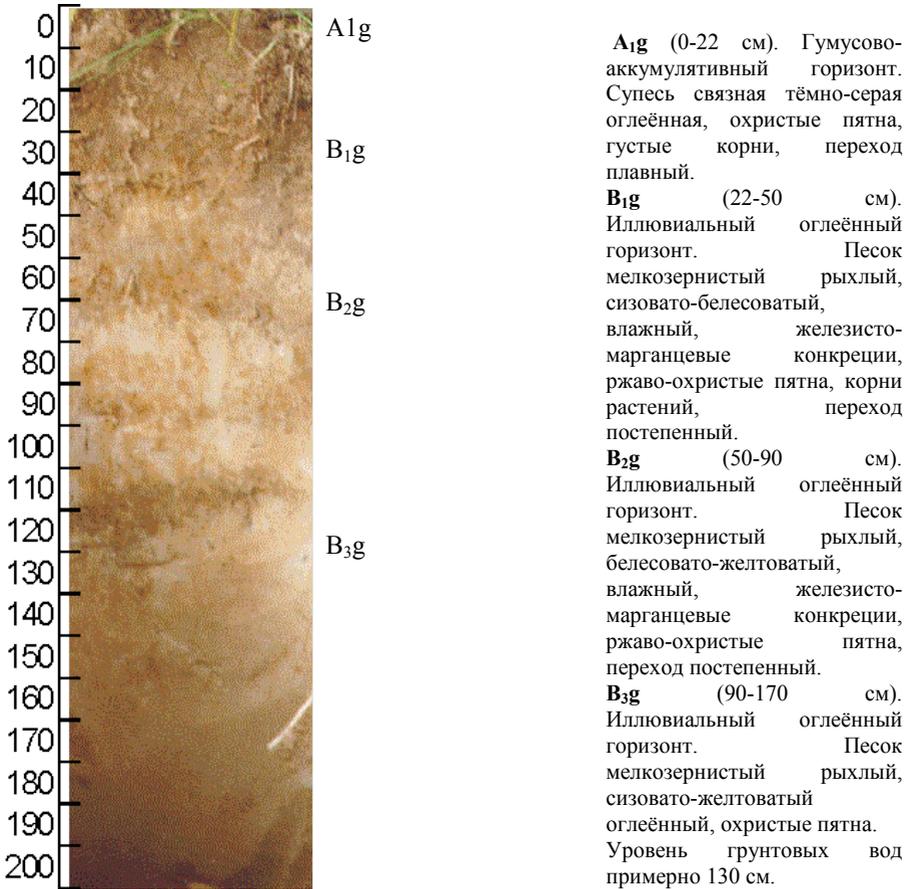


Рисунок А10. Старица на границе между прирусловой и центральной частями поймы (точка 17 на профиле).

Тип почвы: иллювиальная дерново-глеевая супесчаная почва, развивающаяся на связанной супеси, подстилаемой рыхлым песком.

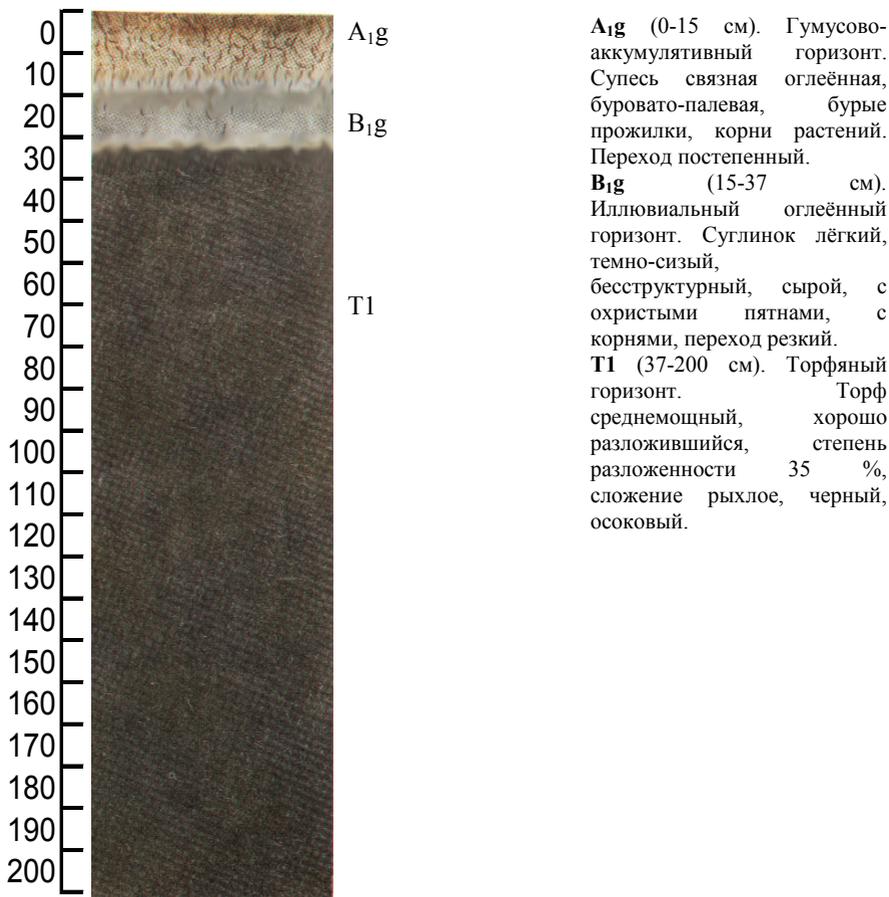


Рисунок А11. Понижение центральной поймы (точка 4 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная дерново-глеевая супесчаная почва, развивающаяся на связной супеси, подстилаемой лёгким суглинком, сменяемым с глубины 37 см среднemosным погребённым торфом.

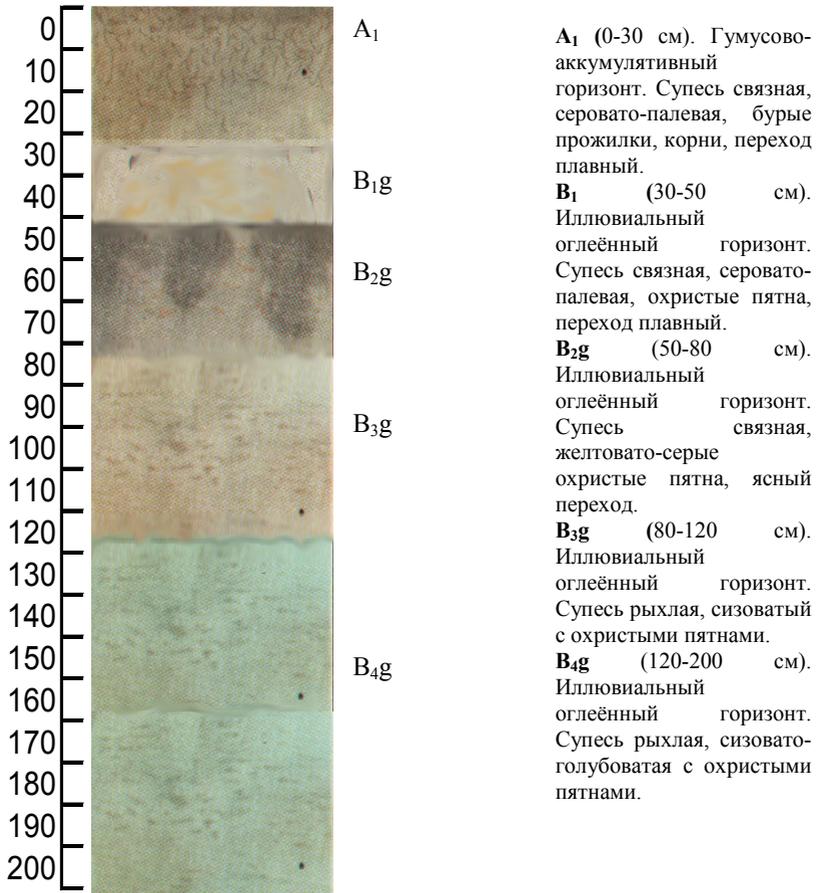


Рисунок А12. Понижение центральной поймы (точка 5 на профиле). Тип почвы: аллювиальная дерново-глееватая супесчаная почва, развивающаяся на связной супеси, подстилаемой рыхлой супесью.

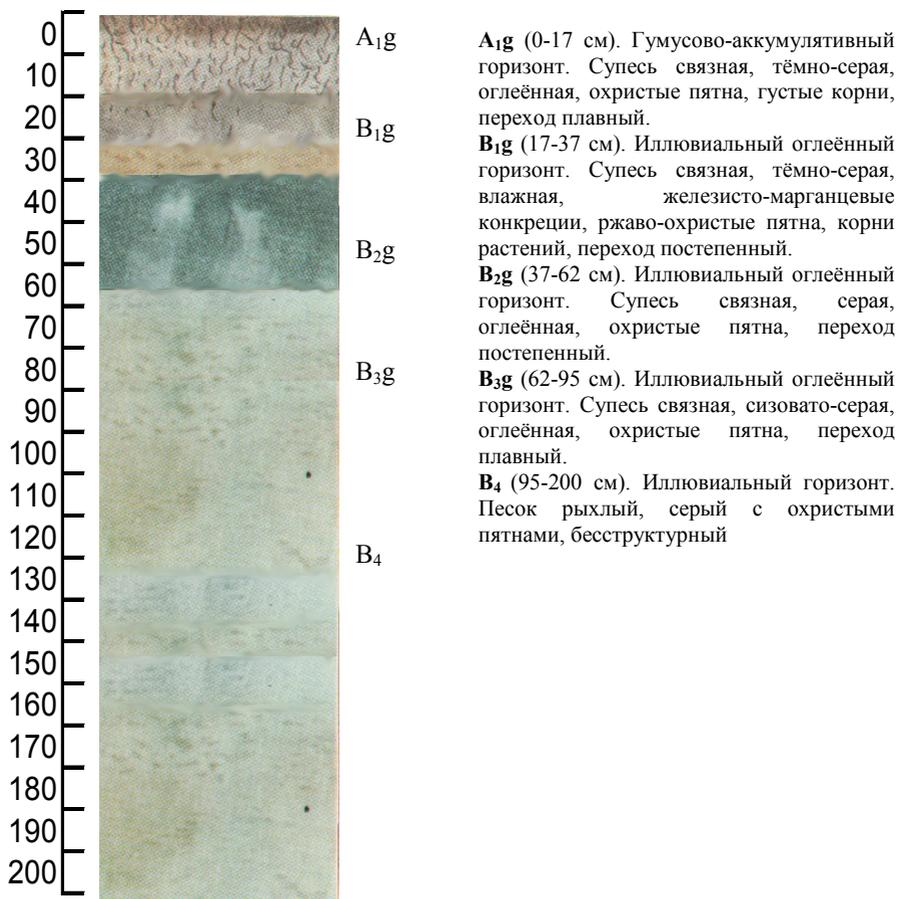
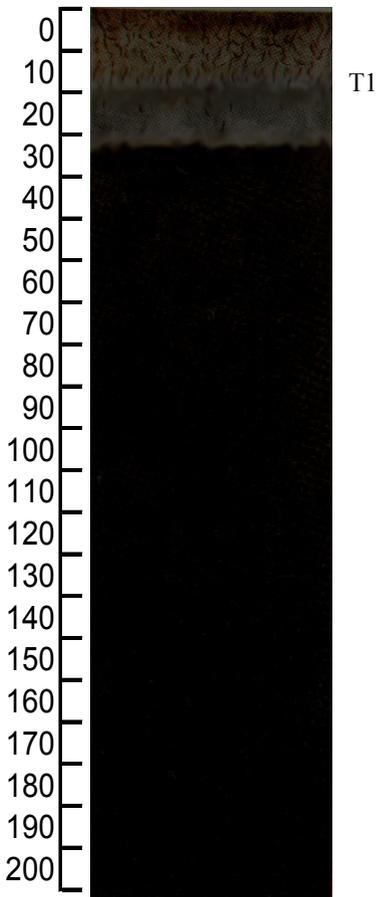


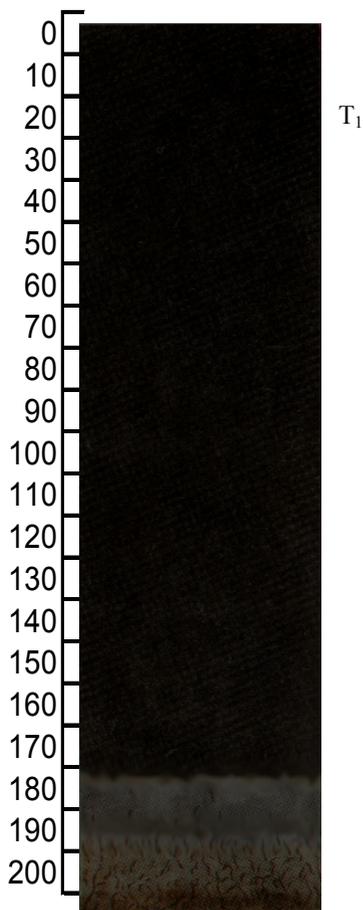
Рисунок А13. Понижение центральной поймы (точка 19 на профиле).
Тип почвы: аллювиальная дерново-глеевая супесчаная почва, развивающаяся на связной супеси, подстилаемая рыхлым песком.



T1 (0-200 см). Торфяной горизонт.
Торф мощный, среднеразложившийся, степень разложения 30 %, сырой, чёрный, осоковый, корни растений, сложение рыхлое.

Рисунок А14. Понижение центральной поймы (точка 20 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная перегнойно-торфяная мощная почва.



T_1 (0-200 см). Торфяной горизонт. Торф мощный, среднеразложившийся, степень разложенности 25 %, чёрный, осоковый, сложение рыхлое.

Рисунок А15. Понижение центральной поймы (точка 22 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная перегнойно-торфяная мощная почва, развивающаяся на осоковых торфах.

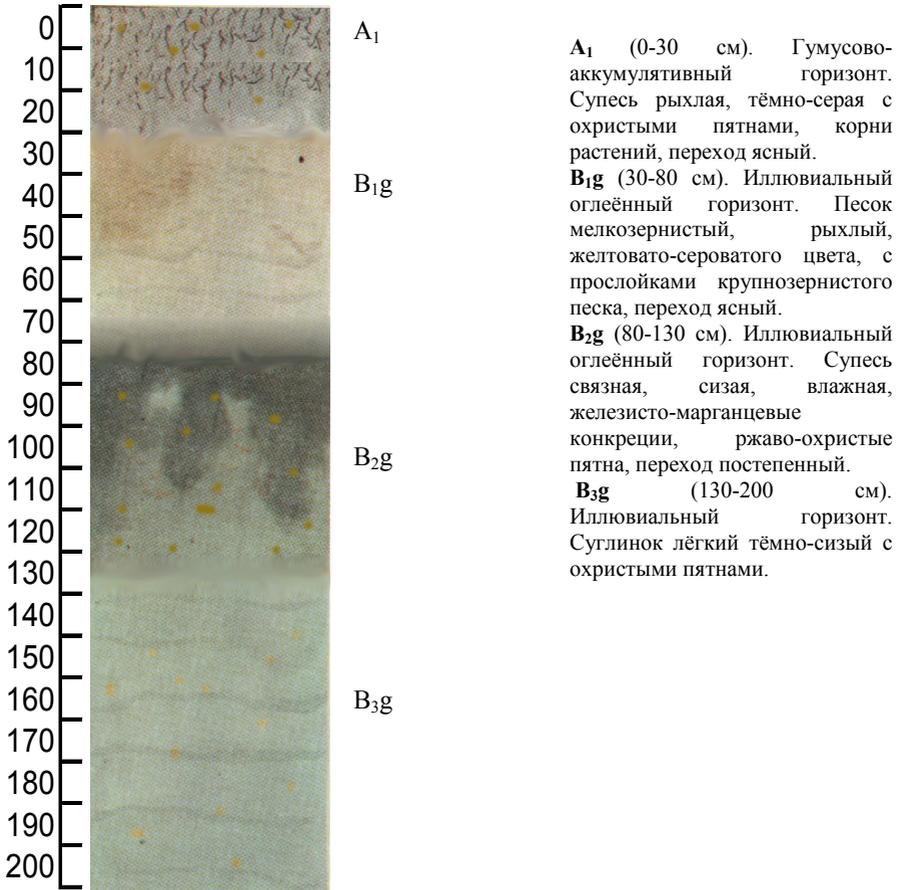
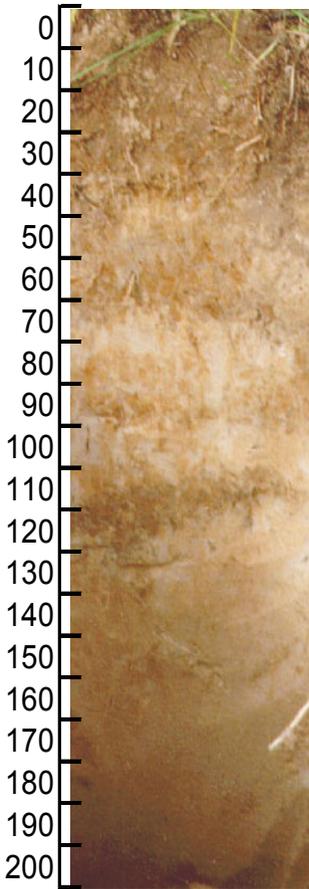


Рисунок А16. Повышение центральной поймы (точка 6 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная дерново-глееватая супесчаная почва, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой рыхлым песком, сменяемым связной супесью и лёгким суглинком.



- A_{1g}** **A_{1g}** (0-22 см). Гумусово-аккумулятивный горизонт. Песок мелкозернистый связный, тёмно-серый, оглеённый, мелкокомковатой структуры, корни растений, охристые пятна, переход постепенный.
- B_{1g}** **B_{1g}** (22-50 см). Иллювиальный оглеённый горизонт. Песок мелкозернистый рыхлый, сизовато-белесоватый с оглеёнными пятнами, слоистый, бесструктурный, корни растений, охристые пятна, переход постепенный.
- B_{2g}** **B_{2g}** (50-90 см). Иллювиальный оглеённый горизонт. Песок мелкозернистый рыхлый, белесовато-желтоватый с охристыми пятнами, слоистый, бесструктурный, переход постепенный.
- B_{3g}** **B_{3g}** (90-200 см). Иллювиальный оглеённый горизонт. Песок мелкозернистый рыхлый, сизовато-желтоватый, бесструктурный, охристые пятна.
Уровень грунтовых вод примерно 130 см.

Рисунок А17. Повышение центральной поймы (точка 13 на профиле).
Тип почвы: аллювиальная дерново-глеявая песчаная почва, развивающаяся на связных песках, подстилаемых рыхлым песком.



Рисунок А18. Повышение центральной поймы (точка 18 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная дерново-глееватая супесчаная почва, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой связными и рыхлыми песками.

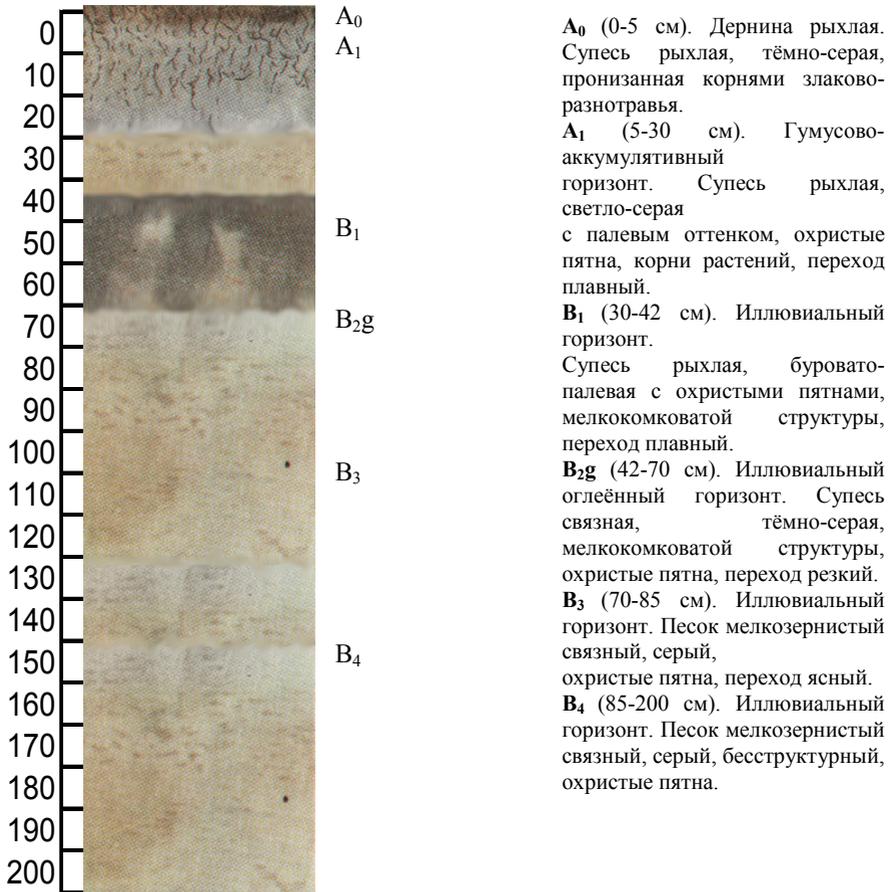


Рисунок А19. Повышение центральной поймы (точка 21 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная дерново-глееватая супесчаная почва, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой связной супесью, сменяемой связным песком.

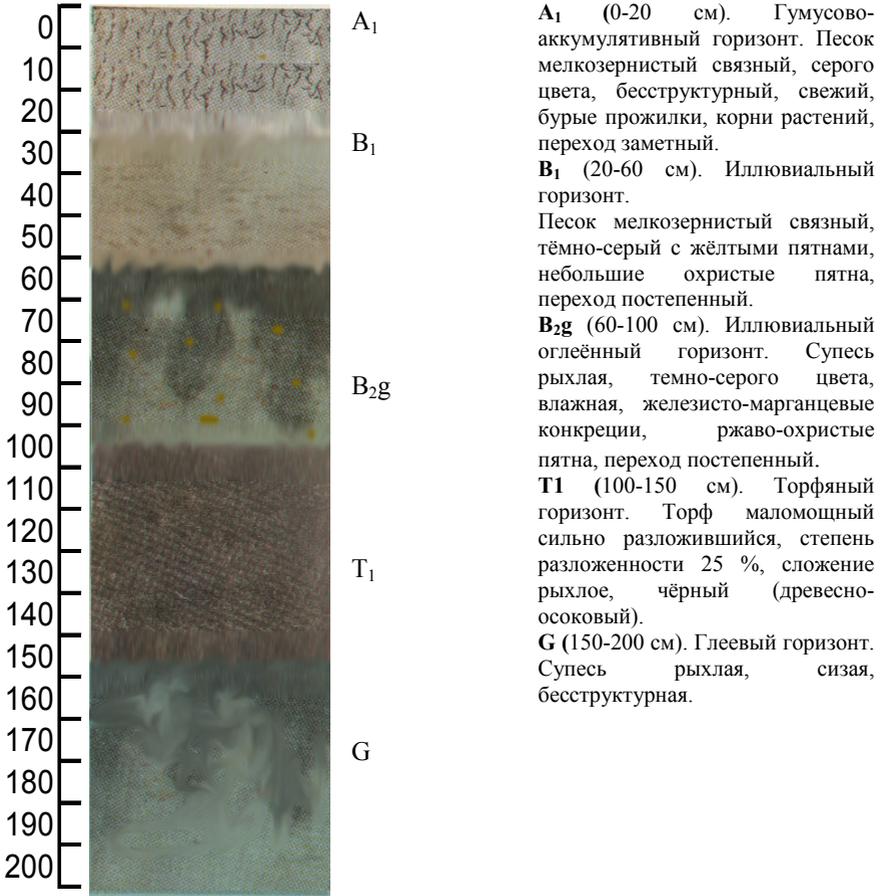
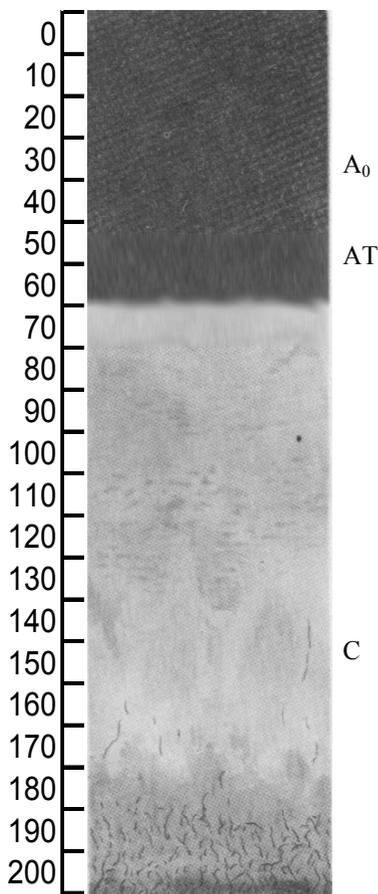


Рисунок А20. Притеррасная пойма (точка 7 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная дерново-глеевая песчаная почва, развивающаяся на связных песках, подстилаемых рыхлой супесью, подстилаемой погребённым торфом, сменяемым рыхлой супесью.



A₀ (0-4см). Рыхлая дернина, покрытая осоками и гипновыми мхами.

AT (4-70 см). Торфяной горизонт.

Торф маломощный, чёрный, гипново-осоковый, среднеразложившийся, степень разложения 30 %, сложение рыхлое, переход резкий.

C (70-200 см). Материнская порода. Супесь связная, темносизая, бесструктурная, с охристыми пятнами, оглеённая.

Рисунок А21. Притеррасная пойма (точка 23 на профиле).

Тип почвы: аллювиальная торфяная маломощная почва, развивающаяся на разнотравно-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 70 см супесчаным аллювием.

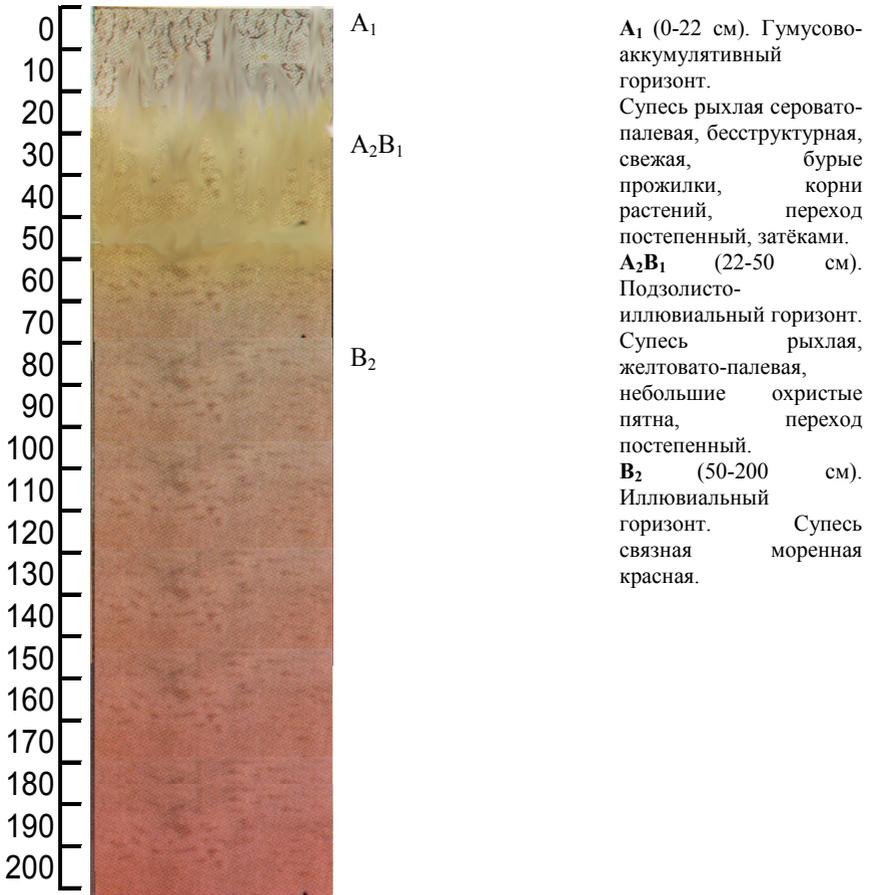
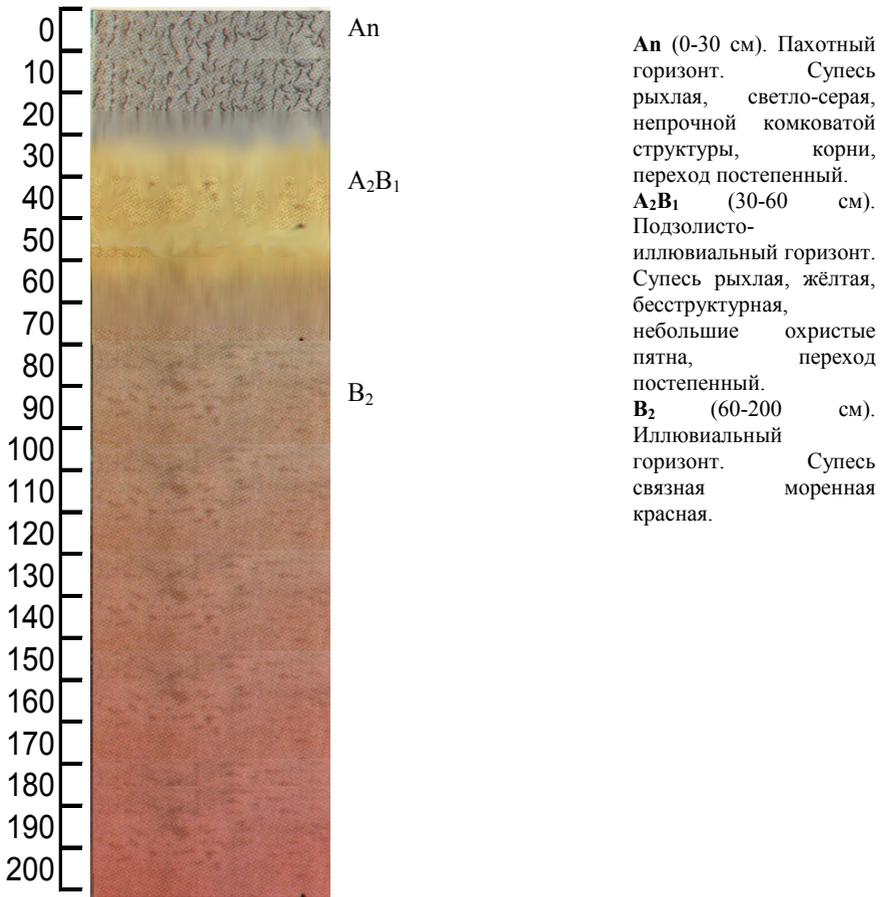


Рисунок А22. Первая надпойменная терраса, естественные уголья (точка 8 на профиле). Тип почвы: дерново-подзолистая временно избыточно увлажняемая супесчаная почва, развивающаяся на рыхлых супесях, подстилаемых связной супесью.



**Рисунок А23. Первая надпойменная терраса пашня (точка 9 на профиле).
Тип почвы:** дерново-подзолистая супесчаная почва, развивающаяся на рыхлых супесях, подстилаемая связанной моренной супесью.

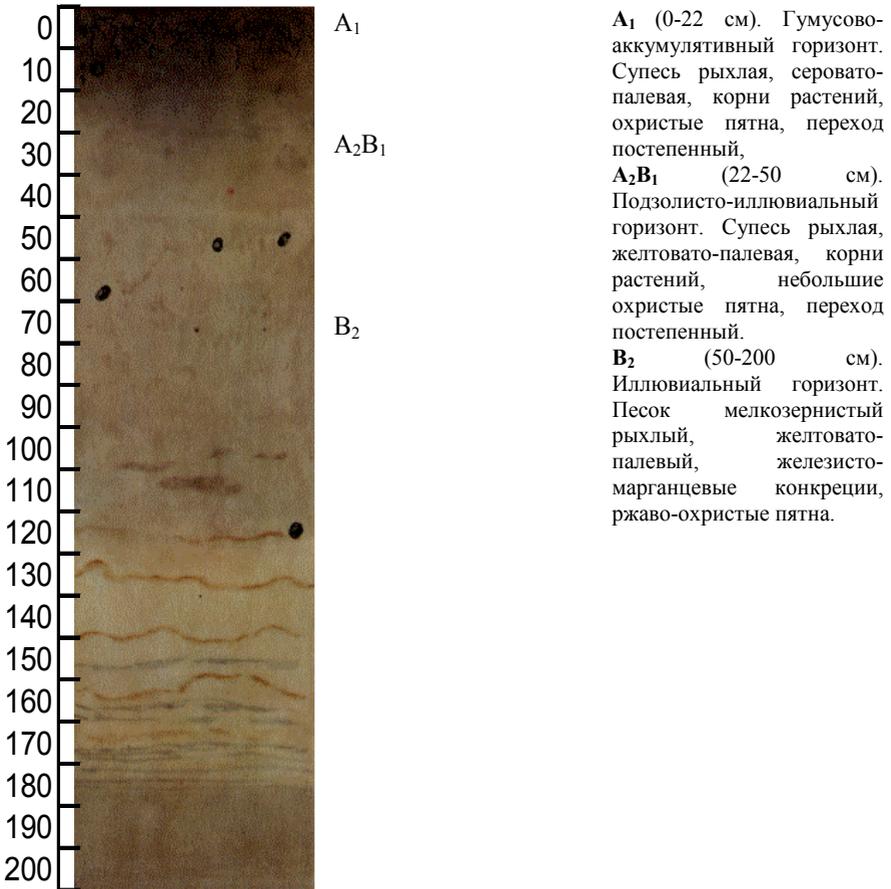


Рисунок А24. Первая надпойменная терраса (точка 24 на профиле).

Тип почвы: дерново-подзолистая временно избыточно увлажняемая супесчаная почва, развивающаяся на рыхлых супесях, подстилаемых рыхлым песком.

Учебное издание

Тимофеева Татьяна Анатольевна

ГЕОХИМИЯ ПОЙМЫ РЕКИ СОЖ

Практическое руководство
для студентов специальности
1-33 01 02 «Геоэкология»

2-е издание, исправленное

Ответственный за выпуск *Е. С. Патей*

Подписано в печать 19.03.2018. Формат 60 × 84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 3,49.
Уч.-изд. л. 1,75. Тираж 50 экз. Заказ 13972.

Издатель и полиграфическое исполнение:
общество с ограниченной ответственностью «Колорград».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/471 от 23.12.2015.

Пер. Велосипедный, 5-904, 220033, г. Минск,
www.сегмент.бел