

# ЛАНДШАФТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПОЙМЕННЫХ ОСТРОВОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**С. С. Рязанов**

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28  
E-mail: RStanislav.soil@yandex.ru*

**В. И. Кулагина**

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28  
E-mail: viksoil@mail.ru*

**Д. В. Иванов**

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28  
E-mail: water-rf@mail.ru*

**А. Б. Александрова**

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28  
E-mail: adabl@mail.ru*

## LANDSCAPE FEATURES OF SOIL COVER DEVELOPMENT ON THE FLOODPLAIN ISLANDS OF THE KUIBYSHEVSKY WATER RESERVOIR

**S. S. Ryazanov**

*Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences,  
28 Daurskaya street, Kazan, Russia, 420087  
E-mail: RStanislav.soil@yandex.ru*

**V. I. Kulagina**

*Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences,  
28 Daurskaya street, Kazan, Russia, 420087  
E-mail: viksoil@mail.ru*

**D. V. Ivanov**

*Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences,  
28 Daurskaya street, Kazan, Russia, 420087  
E-mail: water-rf@mail.ru*

**A. B. Alexandrova**

*Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences,  
28 Daurskaya street, Kazan, Russia, 420087  
E-mail: adabl@mail.ru*

**Аннотация.** Актуальность и цели. Острова рек и водохранилищ – объекты, имеющие достаточно большую суммарную площадь. Несмотря на привлекательность островов для хозяйственной и рекреационной деятельности, это малоизученные объекты, часто неучтенные и не имеющие правовой защиты. Правильное использование и экологическая защита данных объектов невозможна без учета фундамента островных экосистем – почв. Однако почвенный покров островов водохранилищ трудно поддается учету из-за продолжающихся эволюционных процессов, вызванных подтоплением. Цель работы состояла в выявлении закономерностей распределения почвенного покрова пойменных островов, для чего использовался анализ зависимостей от параметров рельефа островов, рассчитанных на основе карты высот. *Материалы и методы.* Объектом исследования являются острова пойменного происхождения, расположенные на территории Казанского района переменного подпора. Согласно результатам полевых обследований (изучено 45 островов и 2 полуострова, заложено 57 почвенных разрезов), естественный почвенный покров островов пред-

ставлен тремя группами почв: аллювиальными дерновыми, аллювиальными луговыми и аллювиальными лугово-болотными. Для описания особенностей развития почвенного покрова островов на основе цифровой карты высот рассчитаны 8 атрибутов рельефа, которые затем были использованы в качестве предикторов для логистического регрессионного анализа. *Результаты.* Анализ зависимости принадлежности почвенного профиля к одной из трех групп аллювиальных почв показал, что ключевую роль в формировании генетических признаков играет гранулометрический состав, определяющий высоту подъема капиллярной каймы, и, как следствие, развитие гидроморфных признаков. Выявленные зависимости от топографических параметров демонстрируют роль распределения водных потоков в рельефе для формирования аллювиальных почв. *Заключение.* Результаты работы показали возможность описания развития и эволюции почвенного покрова островов пойменного типа на основе параметров рельефа. Благодаря логистическому регрессионному анализу выявлены условия развития гидроморфных процессов почвообразования, определяющих генетическую принадлежность почвенного профиля.

**Ключевые слова:** Республика Татарстан, острова, почвы островов, аллювиальные почвы, водохранилище.

**Abstract.** *Background.* Islands of rivers and water reservoirs are objects with quite a large total area. Despite their attractiveness for recreational and economic activities, these objects are little-studied, without legal account and protection. Sustainable management and environmental protection of islands are impossible without taking into account their soil cover – the foundation of island ecosystems. Nevertheless, the soil cover of islands is difficult to investigate due to the ongoing evolutionary processes caused by flooding after reservoir creation. The objective of the research was to reveal the features of soil cover distribution on the territory of the floodplain islands using the analysis of relationships of soil development with the terrain parameters, calculated from the elevation data. *Materials and methods.* The object of the study is the islands of floodplain genesis, located on the territory of the Kazan region of variable backwater. According to the results of field investigation (57 soil slits were located on the 45 islands and 2 peninsulas), natural soil cover of the island is represented by three soil groups: alluvial sod soils, alluvial meadow soils and alluvial meadow-march soils. To determine the development features of islands soils, 8 terrain attributes were calculated to be used as the predictors in logistic regression analysis. *Results.* Analysis of the affiliation dependencies of soil profile to one of the three alluvial soil groups showed that particle size distribution plays the key role in genetic features forming due to the impact on the height of a capillary border and as a result, the development of hydromorphic signs. Revealed dependencies from the terrain parameters showed the role of stream distribution in development of alluvial soils. *Conclusion.* The research results showed the ability of terrain features to characterize the development and evolution of soil cover in the territory of the floodplain islands. The logistic regression analysis showed the relief conditions significant for hydromorphic processes development that on their turn determines the genetic affiliation of soil profile.

**Keywords:** Republic of Tatarstan, islands, island soils, alluvial soils, water reservoir.

## Введение

На территории Куйбышевского водохранилища находится более 800 островов площадью около 9 тыс. га [1]. Большая часть из них находится на территории Республики Татарстан. Хозяйственная, экологическая и рекреационная ценность островов во многом определяется их почвенным покровом и может изменяться вместе с эволюцией почв и структурой покрова. Выявление закономерностей эволюции почв островов позволит правильно планировать мероприятия по охране и использованию островных экосистем.

Уникальность почв островов равнинных водохранилищ заключается в их генезисе. Эти почвы резко сменили направление эволюции в результате создания водохранилища, подтопления и влияния очень своеобразного водного режима, который может иметь не только сезонную, но и недельную, и суточную динамику, нехарактерную для незарегулированной реки [2]. Поэтому закономерности простран-

ственного размещения данных почв отличаются от имеющихся – как на водоразделах, так и в поймах незарегулированных рек, что затрудняет задачи картографирования и мониторинга данных почв.

Цель работы состояла в выявлении закономерностей распределения почвенного покрова пойменных островов, для чего использовался анализ зависимостей от параметров рельефа островов, рассчитанных на основе карты высот. Данный подход широко применяется и показывает высокую точность для описания и цифрового картографирования почв водоразделов и равнин [3, 4].

## Объекты и методы

**Область обследования.** Объектом исследования являются острова, расположенные на территории Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища (Республика Татарстан, Россия): от моста Зеленодольск – Нижние Вязовые (55°49'27,1"N;

48°31'05,6"E) до участка в районе г. Казани (55°42'51,2"N; 49°01'52,9"E) ниже по течению р. Волга (рис. 1). Уровень воды данного района водохранилища контролируется плотиной

Жигулевской ГЭС и характеризуется значительными годовыми колебаниями от 48,6 м до 53,5 м при нормальном подпорном уровне воды (НПУ) в 53 м [5].

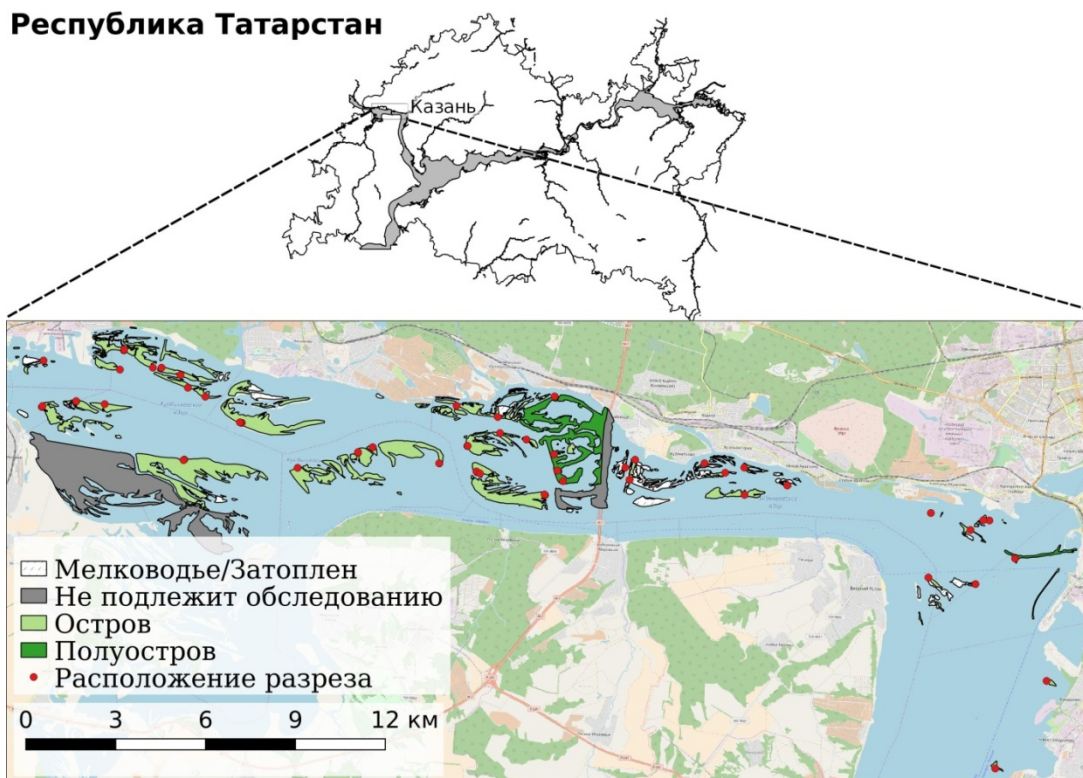


Рис. 1. Пойменные острова Казанского района переменного подпора при НПУ и места заложения почвенных разрезов

Fig. 1. Floodplain islands of the Kazan region of variable backwater at normal water level and locations of soil slits

Представленная на рис. 1 картографическая основа отражает границы островов района исследования при НПУ. Границы островных систем определены путем дешифровки спутниковых снимков высокого пространственного разрешения, предоставляемых картографическими онлайн-сервисами YandexMaps, GoogleMaps и BingMaps. При отсутствии данных о дате создания спутникового снимка, и, как следствие, отсутствии возможности определить уровень воды, границы островов подтверждались с помощью дешифровки спутниковых снимков низкого пространственного разрешения (Landsat 8) с известной датой создания.

В результате дешифровки на обследуемой территории выделено 262 объекта, 162 из которых – мелководья или затопленные при НПУ острова, 4 полуострова – бывшие острова, соединенные насыпью с берегом (см. рис. 1). Суммарная площадь объектов составляет 1856,25 га, из которых 32 острова имеют площадь менее 2 га, 38 островов – от 2 до 10 га, 26 островов – от 10 до 100 га, и 4 острова имеют площадь более 100 га. По своему генезису

острова данного участка водохранилища относятся к пойменным и представляют собой наиболее высокие участки бывшей поймы р. Волги до создания водохранилища [6, 7]. Несколько островов являются относительно свежими искусственными песчаными намывами; типичный и наиболее крупный пример – группа островов южнее п. Займище (55°48'38,3"N; 48°49'59,7"E) [8].

**Почвенные данные.** За полевой период 2018 г. на территории Казанского района переменного подпора обследованы 45 островов и 2 полуострова пойменного генезиса. Всего заложено 57 полноразмерных почвенных разрезов. Образцы отбирались по стандартной методике из всех почвенных генетических горизонтов. В почвенных образцах определялись следующие показатели: гранулометрический состав, содержание гумуса, pH водной вытяжки. Классификационная принадлежность почв определена в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв СССР» [9]. Выбор системы классификации обусловлен наличием архивных данных обследования почвенного покрова данного района.

Проведенные экспедиционные исследования показали, что в настоящее время разнообразие аллювиальных почв представлено пятью генетическими типами: аллювиальные дерновые кислые, аллювиальные дерновые насыщенные, аллювиальные луговые кислые, аллювиальные луговые насыщенные, аллювиальные лугово-болотные [9]. Кроме аллюви-

альных почв на исследованных островах были обнаружены урбаноземы и относительно свежие искусственные наносы (табл. 1). В работе изучается влияние параметров рельефа на развитие и распределение трех почвенных групп: аллювиальные дерновые (Ад), аллювиальные луговые (Ал) и аллювиальные лугово-болотные (Алб).

Таблица 1

Состав почвенного покрова пойменных островов

Table 1

## Main soil types of floodplain islands

Группа почв	Тип почв	Кол-во разрезов, шт.
Аллювиальные дерновые	Кислые	3
	Насыщенные	11
Аллювиальные луговые	Кислые	9
	Насыщенные	13
Аллювиальные лугово-болотные	–	14
Урбаноземы	–	3
Наносы	–	4

**Ландшафтные атрибуты.** Для характеристики рельефа островных систем использовались данные цифровой модели рельефа (ЦМР) ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D – 30m (AW3D30)" [10]. Разрешение ЦМР составляет 1 угловую секунду (~30 м). Точность оценки высотных значений – 5 м. Из-за высокой зашумленности исходных данных ЦМР подвергалась предварительной фильтрации по методу Perego в геоинформационной системе SAGA GIS [11].

На основе цифровой модели рельефа рассчитаны параметры рельефа, потенциально влияющие на почвенный покров островов. Одним из критериев подбора атрибутов рельефа являлась их независимость, поскольку высокая мультиколлинеарность может привести к неадекватной оценке параметров при регрессионном моделировании [12]. Для дальнейшего анализа использовались 10 некоррелированных ( $|\text{Pearson's } r| < 0,75$ ) атрибутов рельефа:

– *Catchment Area* – площадь водосбора. Параметр отражает размер территории с потенциальным вкладом в аккумуляцию поверхностных потоков [3];

– *Cell Balance Index* – индекс баланса ячейки. Отражает потенциальное распределение вещества между соседними ячейками ЦМР. Значения больше 0 обозначают аккумулятивные участки рельефа, значения меньше 0 – денудационные участки [13];

– *Convergence Index* – индекс сходимости. Отражает структуру рельефа как набор конвергентных (каналы) и дивергентных (гряды) зон. Индекс принимает значения от –100 (ячейка

представляет собой вершину конусообразного окружения) до 100 (впадина); значение 0 указывает на пологий склон [14];

– *Cross-sectional Curvature* – поперечная кривизна. Горизонтальная кривизна склона; отрицательные значения соответствуют вогнутым участкам рельефа, положительные – выпуклым [3];

– *Longitudinal Curvature* – продольная кривизна. Вертикальная кривизна склона; отрицательные значения соответствуют вогнутым участкам рельефа, положительные – выпуклым [3];

– *Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness* – мультимасштабный индекс плоскостности дна долин. Индекс служит для идентификации эрозионных и денудационных участков рельефа. Более высокие значения индекса отображают более плоские и низкие участки относительно их окружения [15];

– *Relative Slope Position* – относительная склоновая позиция. Индекс отражает расположение участка местности на склоне между дном долины ( $RSP = 0$ ) и вершиной гряды ( $RSP = 100$ ) [4];

– *Topographic Wetness Index* – топографический индекс влажности. Безразмерный показатель, который позволяет оценить распределение почвенной влаги в рельефе [16]. Индекс рассчитывается как соотношение специфичной площади водосбора к углу склона [4];

– *SAGA TWI* – топографический индекс влажности SAGA. Модификация обычного индекса влажности, дает более реалистичные оценки распределения влаги для участков у дна долин с малым расстоянием до сети каналов [17];

– *Topographic Position Index* – топографический индекс позиции. Индекс оценивает расположение участка относительно средней высоты окружающей территории [18].

**Регрессионный анализ.** Для изучения влияния рассчитанных атрибутов рельефа на развитие почвенного покрова пойменных островов водохранилища использован метод множественного логистического регрессионного анализа [12]. Для этого из значений классификационной принадлежности почвенного разреза с помощью индикаторной трансформации получены три бинарные переменные:

$$I_i(S) = \begin{cases} 1, & \text{если } S = i \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}; \quad i = [Ad | Al | Alb]. \quad (1)$$

Данная трансформация равнозначна переводу значений в вероятность принадлежности почвенного разреза к одной из трех аллювиальных групп. Рассчитанные атрибуты рельефа использовались в качестве предикторов для построения моделей, описывающих зависимость вероятности принадлежности участка суши к заданной почвенной группе. Построение моделей (по одной для каждой почвенной группы) проводилось путем пошагового включения/исключения предикторов с оценкой согласно информационному критерию Акайке (AIC) [12].

Оценка адекватности итоговых моделей логистической регрессии проведена при помощи перекрестной проверки. Для этого из исходного набора данных последовательно удалялось по одной точке  $o_i$ . Три модели затем строились на оставшемся  $n-1$  наборе данных, и для исключенной точки делался прогноз  $p_i$  принадлежности к той или иной почвенной группе (три значения вероятности для трех групп аллювиальных почв). Исключенной точке присваивалась та почвенная группа (Ad, Al или Alb), вероятность которой при данных значениях рельефных атрибутов наивысшая:

$$S_c = \max[P(Ad), P(Al), P(Alb)]. \quad (2)$$

Прогнозные значения групп почв использовались для сравнения с реальными значениями и расчета показателей точности прогноза:

– *общей точности* – соотношение верно спрогнозированных значений к их общему числу;

– *индекса каппа Коэна (Cohen's kappa)* – позволяет оценить производительность модели с учетом вероятности случайного правильного прогноза; может принимать значения от 0 (про-

гноз модели не лучше абсолютно случайного угадывания) до 1 (идеальная сходимость с реальными данными) [19];

– *ROC кривой (Receiver operating characteristics)* – описывает соотношение истинно положительных прогнозов к ложно положительным. Показательной характеристикой в данном случае является площадь под ROC кривой модели (area under curve, AUC) – при значении  $AUC = 0,5$  оцениваемая модель дает прогноз, равный случайному угадыванию, при значении  $AUC = 1$  модель показывает идеальный результат. Интерпретация значений AUC схожа с индексом каппа, но данный инструмент более гибкий, поскольку позволяет сравнить между собой отдельные прогнозные модели [19].

## Результаты и обсуждение

**Влияние параметров рельефа на почвенный покров.** Генетические различия рассматриваемых групп аллювиальных почв островов водохранилища (аллювиальные дерновые, аллювиальные луговые и аллювиальные лугово-болотные) обусловлены характером их водного режима. Уровень грунтовых вод, высота капиллярной каймы и, как следствие, интенсивность процессов гидроморфизма аллювиальных почв возрастает в ряду  $Ad < Al < Alb$  [9]. В условиях островных систем пойменного типа, которые характеризуются малым разбросом высот суши (по данным цифровой модели рельефа, средние высоты островов варьируют от 52,7 м до 57,5 м), оценка зависимости группы почвы от значений высоты без учета гранулометрического состава почвенного профиля может оказаться сбивающей с толку. Так, медианные значения высоты над уровнем моря возрастают в порядке, противоположном интенсивности проявления процессов гидроморфизма рассматриваемых почв:  $Alb (Me_{\text{высота}} = 58,45 \text{ м}) > Al (Me_{\text{высота}} = 56,97 \text{ м}) > Ad (Me_{\text{высота}} = 56,05 \text{ м})$ .

Гранулометрический состав (ГМС) почвенного профиля определяет высоту подъема капиллярной каймы. На рис. 2 представлен график, отображающий различия в глубине почвенного профиля аллювиальных почв в зависимости от гранулометрического состава, на котором прослеживается тенденция уменьшения глубины нижней границы разреза с утяжелением ГМС для аллювиальных луговых и лугово-болотных почв (для которых нижняя граница разреза определена глубиной поступления воды через стенки разреза).

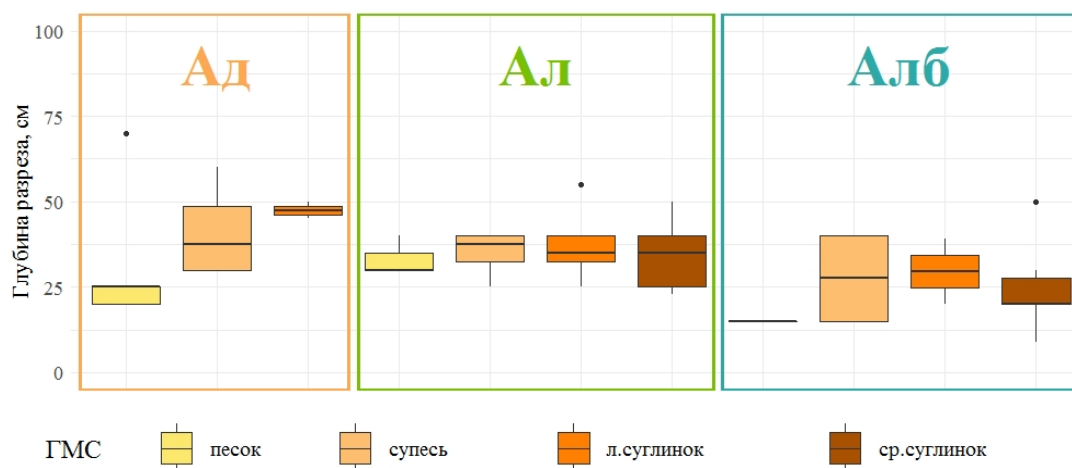


Рис. 2. Мощность почвенного профиля аллювиальных почв различного ГМС

Fig. 2. The depth of soil profiles of alluvial soil with different textures

Анализ распределения почвенных групп по элементам рельефа с учетом гранулометрического состава позволяет выявить характерные закономерности (рис. 3). Так, аллювиальные лугово-болотные почвы более тяжелого гранулометрического состава могут размещаться выше по рельефу, чем более легкого. Та же тенденция прослеживается для луговых почв.

Если рассматривать распределение по высотам почв разных групп с одинаковым гранулометрическим составом, то хорошо заметно, что песчаные аллювиальные дерновые почвы располагаются в среднем на больших абсолютных высотах, чем песчаные аллювиальные луговые; супесчаные луговые занимают более высокие абсолютные отметки, чем супесчаные лугово-болотные (см. рис. 3).

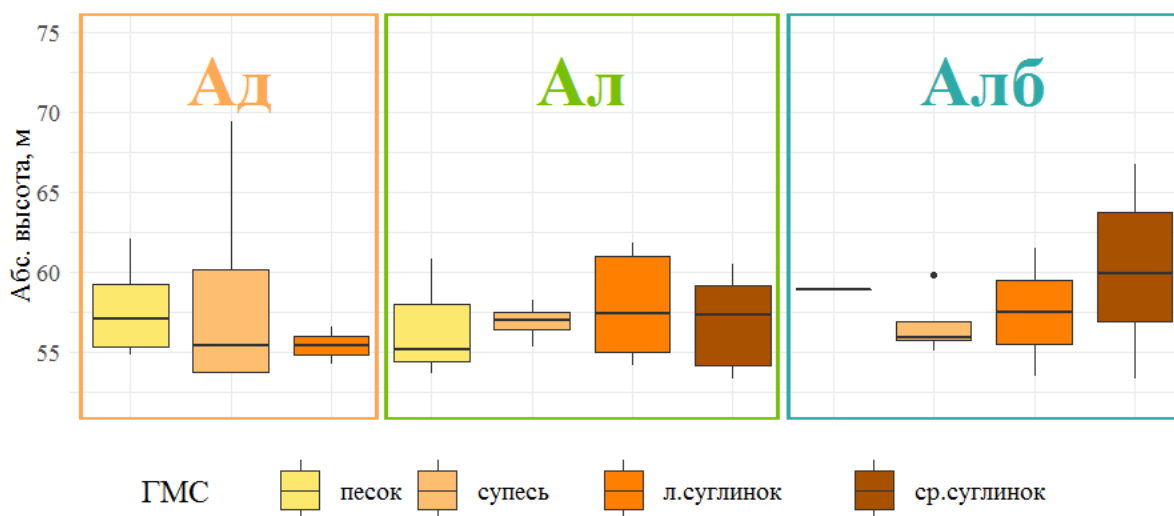


Рис. 3. Распределение аллювиальных почв различного гранулометрического состава по высотам над уровнем моря

Fig. 3. Elevation distribution of alluvial soils with different texture

Вторичные атрибуты рельефа, рассчитанные из цифровой модели высот, позволяют более детально рассмотреть особенности развития почвенного покрова островов. В частности, высоко информативен рассчитанный топографический индекс влажности, который позволил выявить закономерные различия почвенных групп, обусловленные распределением влаги в рельефе островных систем: аллювиальные дер-

новые почвы располагаются на участках с меньшим потенциальным увлажнением по сравнению с аллювиальными луговыми и лугово-болотными почвами (рис. 4). Гранулометрический состав также определяет распределение почвенных типов: более тяжелый ГМС почвенной толщи способствует развитию гидроморфных свойств даже при условии меньшего количества распределенной влаги.

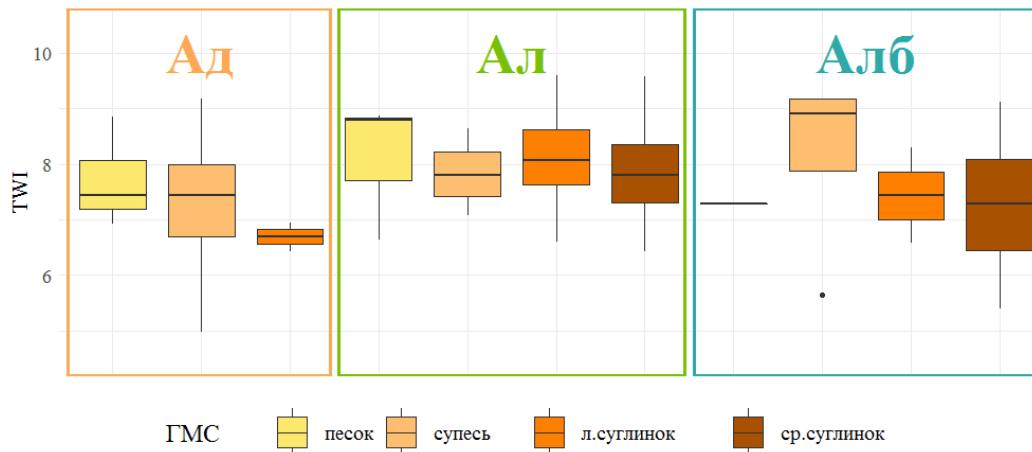


Рис. 4. Топографический индекс влажности аллювиальных почв различного гранулометрического состава

Fig. 4. Topographic wetness index distribution of alluvial soils with different texture

**Модели влияния атрибутов рельефа.**

Использование логистического регрессионного анализа позволило более детально рассмотреть совокупное влияние атрибутов рельефа на раз-

витие почвенного покрова островов с учетом гранулометрического состава. Параметры итоговых моделей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры моделей логистических регрессий

Table 2

Parameters of logistic regression models

Предиктор	Коэф.	Ст. ошибка	p-value	pseudo R <sup>2</sup>
<i>logit (S = Аллювиальная дерновая)</i>				
(Intercept)	7,415	3,659	0,043	0,38
ГМС (супесь)	-1,548	0,981	0,115	
ГМС (л. суглинок)	-2,498	1,075	0,020	
ГМС (ср. суглинок)	-20,617	2568,064	0,994	
SAGA TWI	-1,394	0,691	0,044	
Topographic Wetness Index	0,495	0,320	0,122	
<i>logit (S = Аллювиальная луговая)</i>				
(Intercept)	3,336	2,877	0,246	0,30
MRVBF	0,370	0,162	0,023	
ГМС (супесь)	0,432	0,985	0,661	
ГМС (л. суглинок)	2,178	1,074	0,043	
ГМС (ср. суглинок)	2,323	1,104	0,035	
Catchment Area	-0,003	0,001	0,033	
Cell Balance	4,060	2,205	0,066	
<i>logit (S = Аллювиальная лугово-болотная)</i>				
(Intercept)	-3,563	1,366	0,009	0,27
ГМС (супесь)	2,501	1,461	0,087	
ГМС (л. суглинок)	2,292	1,585	0,148	
ГМС (ср. суглинок)	4,086	1,590	0,010	
Cross-sectional curvature	-5919,727	2582,428	0,022	
Topographic Position Index	1,350	0,632	0,033	

Коэффициент детерминации *pseudo R<sup>2</sup>* для приведенных моделей логистической регрессии рассчитан методом максимального правдоподобия [20]. Согласно ему, гранулометрический состав и параметры рельефа объясняют

около 38 %, 30 % и 27 % дисперсии данных вероятности развития аллювиальных дерновых, аллювиальных луговых и аллювиальных лугово-болотных почв соответственно (см. табл. 2).

В табл. 3 представлена матрица ошибок прогноза наиболее вероятной почвенной группы, полученная в результате перекрестной проверки. Согласно результатам оценки качества моделей, общая точность прогноза составляет 66 % (для 33 разрезов из 50 группа почвы была определена верно). Наибольшая погрешность прогноза наблюдается при разделении близких

по проявлению гидроморфных свойств групп почв: между аллювиальными дерновыми и аллювиальными луговыми и между аллювиальными луговыми и аллювиальными лугово-болотными. Более высокое разрешение цифровой модели рельефа, по-видимому, могло бы улучшить прогноз в данном случае.

Таблица 3

Матрица ошибок результатов перекрестной проверки моделей

Table 3

Cross-validated confidence matrix of models

		Полевые данные		
		Ал. дерновая	Ал. луговая	Ал. лугово-болотная
Прогнозные значения	Ал. дерновая	8	4	1
	Ал. луговая	5	14	2
	Ал. лугово-болотная	1	4	11
Точность по группам, %		57,14	63,64	71,43

Индекс каппа Коэна для прогнозных моделей равняется 0,60, что говорит о средней схожести прогноза с реальными значениями и о более высокой точности прогноза в сравнении со случайным угадыванием [19]. Анализ ROC кривых также показывает высокую производительность всех трех моделей: AUC (Ад) = 0,87, AUC (Ал) = 0,68, AUC (Алб) = 0,77. Усреднен-

ная точность (AUC (Общий) = 0,77) также подтверждает, что использование топографических индексов и данных о гранулометрическом составе почвенной толщи дает высокую точность прогноза развития одной из трех групп аллювиальных почв при заданных условиях рельефа (рис. 5).

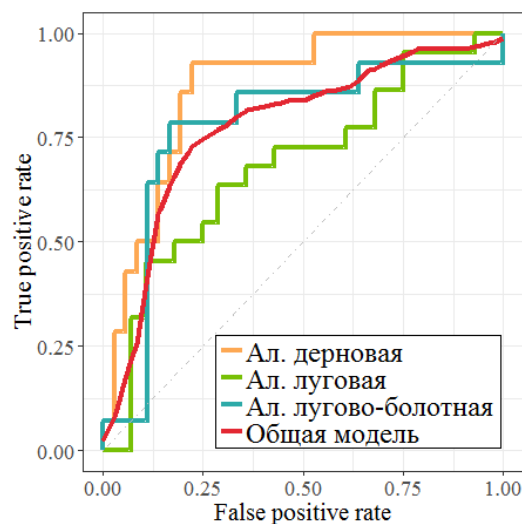


Рис. 5. ROC кривые моделей логистических регрессий

Fig. 5. ROC curves of logistic regression models

Таким образом, результаты логистического регрессионного анализа показывают, что вероятность развития аллювиальных дерновых почв имеет обратную зависимость от количества распределенной влаги (SAGA TWI) – в более

сухих условиях островных систем возрастает вероятность развития свойств почвенной толщи, характерных для аллювиальных дерновых почв, а не аллювиальных луговых или лугово-болотных почв (см. табл. 2). Помимо модифи-



цированного индекса влажности SAGA TWI, в модели также присутствует оригинальный индекс влажности (Topographic Wetness Index). Коэффициент данного параметра не имеет значимого влияния на вероятность развития аллювиальных дерновых почв ( $p = 0,122$ ), однако его исключение вело к увеличению значения АИС и снижению общей точности. Подобное поведение, а также разнонаправленность коэффициентов двух индексов влажности, по-видимому, объясняется тем, что оригинальный индекс влажности позволяет скорректировать общую гиперплоскость влияния параметров рельефа и ГМС на зависимую переменную.

Утяжеление гранулометрического состава также снижает вероятность развития аллювиальной дерновой почвы, что обусловлено более высоким подъемом капиллярной каймы.

Параметры рельефа, отобранные при построении модели аллювиальных луговых почв, позволяют заключить, что данные почвы развиваются на более низких и ровных участках рельефа (параметр MRVBF) с меньшей площадью водосбора (Catchment Area). Также наблюдается положительная зависимость с утяжелением ГМС (см. табл. 2).

Аллювиальные лугово-болотные почвы, согласно результатам регрессионного анализа, способны развиваться на более высоких участках островных систем (параметр Topographic Position Index), но в то же время на аккумулятивных вогнутых участках рельефа (параметр Cross-sectional curvature), что также определяет

распределение влаги. Вероятность развития данной группы почв также возрастает с утяжелением гранулометрического состава (см. табл. 2).

### Заключение

Результаты работы показали возможность описания развития и эволюции почвенного покрова островов пойменного типа на основе параметров рельефа. Благодаря логистическому регрессионному анализу выявлены условия развития гидроморфных процессов почвообразования, которые в свою очередь определяют генетическую принадлежность почвенного профиля. Результаты анализа также показали невозможность описания условий развития почвенного покрова пойменных островов, используя один набор универсальных характеристик рельефа, ввиду отсутствия сильных градиентов рельефных условий. Приведенные результаты подчеркивают высокую роль гранулометрического состава в распределении почвенных типов на территории островных систем – более тяжелый ГМС способствует развитию гидроморфных условий даже в случае большего расстояния до водной поверхности водохранилища и меньшего количества распределенной влаги осадков.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-44-160002.

### Библиографический список

1. Экологические системы островов Куйбышевского водохранилища. Казанский район переменного подпора / под ред. В. А. Бойко. – Казань : Фэн, 2002. – 360 с.
2. Кулагина, В. И. Аллювиальные почвы разных стадий эволюции в классификациях 1977 и 2004 гг. (на примере островов Куйбышевского водохранилища) / В. И. Кулагина, Д. В. Иванов, С. С. Рязанов, А. Б. Александрова // Российский журнал прикладной экологии. – 2018. – № 3. – С. 28–33.
3. Hengl, T. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications / T. Hengl, H. Reuter. – Oxford : Elsevier, 2009. – 765 p.
4. Bohner, J. Spatial Prediction of Soil Attributes using Terrain Analysis and Climate Regionalisation / J. Bohner, T. Selige // Gottinger Geographische Abhandlungen. – 2006. – Vol. 115. – P. 13–27.
5. Изменения уровней водохранилищ ГЭС РусГидро. – 2019. – URL: <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer/>
6. Карта рельефа поймы р. Волги (до создания Куйбышевского водохранилища) / под ред. В. И. Мозжерина. – Казань : КГУ, 1990.
7. Кулагина, В. И. Почвенный покров островов Куйбышевского водохранилища в районе н.п. Займище / В. И. Кулагина, Д. В. Иванов, Б. Р. Григорьян, С. С. Рязанов // Ученые записки Казанского университета. Сер.: Естественные науки. – 2016. – Т. 158, № 3. – С. 404–415.
8. Классификация и диагностика почв СССР / сост.: В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова, Н. Н. Розов, В. А. Носин, Т. А. Фриев. – Москва : Колос, 1977. – 224 с.
9. Precise Global DEM Generation By ALOS PRISM / T. Tadono, H. Ishida, F. Oda, S. Naito, K. Minakawa, H. Iwamoto // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2014. – Vol. II-4. – P. 71–76.
10. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. / O. Conrad, B. Bechtel, M. Bock, H. Dietrich, E. Fischer, L. Gerlitz, J. Wehberg, V. Wichmann, J. Boehner // Geosci. Model Dev. – 2015. – № 8. – DOI 10.5194/gmd-8-1991-2015.

11. Zuur, A. *Analysing Ecological Data* // A. Zuur, E. Ieno, G. Smith. – New York : Springer Science + Business Media, 2007. – 685 p.
12. Olaya, V. *Hidrologia Computacional y Modelos Digitales del Terreno* / V. Olaya. – Alqua, 2004. – 365 p.
13. Claps, P. Informational entropy of fractal river networks / P. Claps, M. Fiorentino, G. Oliveto // *Journal of Hydrology*. – 1994. – № 187 (1-2). – P. 145–156.
14. Gallant, J. C. A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas / J. C. Gallant, T. I. Dowling // *Water Resources Research*. – 2003. – Vol. 39, № 12. – P. 1347. – DOI 10.1029/2002WR001426.
15. Radula, M. Topographic wetness index explains soil moisture better than bioindication with Ellenberg's indicator values / M. Radula, T. Szymura, M. Szymura // *Ecological Indicators*. – 2018. – Vol. 85. – P. 172–179. – DOI 10.1016/j.ecolind.2017.10.011.
16. Soil Regionalisation by Means of Terrain Analysis and Process Parameterisation / J. Boehner, R. Koethe, O. Conrad, J. Gross, A. Ringeler, T. Selige // *Soil Classification 2001* / ed. by E. Micheli, F. Nachtergaele, L. Montanarella. – Luxembourg, 2002. – № 7. – P. 213–222.
17. Mokarram, M. Landform classification using topography position index (case study: salt dome of Korsia-Darab plain, Iran) / M. Mokarram, G. Roshan, S. Negahban // *Model. Earth Syst. Environ.* – 2015. – № 1. – 7 p.
18. Ben-David, A. About the relationship between ROC curves and Cohen's kappa / A. Ben-David // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2008. – № 21. – P. 874–882.
19. Scott Long, J. *Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables* / J. Scott Long // *Advanced Quantitative Techniques in the Social Sciences*. – 1997. – № 7. – P. 104–106.

## References

1. *Ekologicheskie sistemy ostrovov Kuibyshevskogo vodokhranilishcha Kazanskii raion peremennogo podpora* [Environmental systems of islands in Kazan region of variable backwater of the Kuibyshevsky water reservoir]. Ed.: V. A. Boiko. Kazan: Fen, 2002, 360 p. [In Russian]
2. Kulagina V. I., Ivanov D. V., Ryazanov S. S., Alexandrova A. B. *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii* [Russian Journal of Applied Ecology]. 2018, no. 3, pp. 28–33. [In Russian]
3. Hengl T. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Oxford: Elsevier, 2009, 765 p.
4. Bohner J., Selige T. *Spatial Prediction of Soil Attributes using Terrain Analysis and Climate Regionalisation*. Gottinger Geographische Abhandlungen, 2006, vol. 115, pp. 13–27.
5. *Izmeneniia urovnei vodokhranilishch GES RusGidro* [Changing of water reservoirs levels HES RusGidro], 2019, Available at: <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer/> [In Russian]
6. *Karta relefa poimyr Volgi (do sozdaniia Kuibyshevskogo vodokhranilishcha)* [Relief map of the Volga floodplain (before Kuibyshev water reservoir creation)]. Ed.: V. I. Mozherin. Scale 1:50000. Kazan: KSU, 1990. [In Russian]
7. Kulagina V. I., Ivanov D. V., Grigoryan B. R., Ryazanov S. S. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta Seriya Estestvennye nauki* [Proceedings of the Kazan University. Series: Natural Sciences]. 2016, vol. 158, no. 3, pp. 404–415. [In Russian]
8. *Klassifikatsiia i diagnostika pochv SSSR* [Classification and identification of the USSR soils]. Compilers: V. V. Egorov, V. M. Fridland, E. N. Ivanova, N. N. Rozov, V. A. Nosin, T. A. Frieв. Moscow: Kolos, 1977, 224 p. [In Russian]
9. Tadono T., Ishida H., Oda F., Naito S., Minakawa K., Iwamoto H. *Precise Global DEM Generation By ALOS PRISM*. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2014, vol. II-4, pp. 71–76.
10. Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Boehner J. *System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4*. *Geosci. Model Dev*, 2015, no. 8, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.
11. Zuur A., Ieno E., Smith G. *Analysing Ecological Data*. New York: Springer Science + Business Media, 2007, 685 p.
12. Olaya, V. *Hidrologia Computacional y Modelos Digitales del Terreno*. Alqua, 2004. – 365 p.
13. Claps P., Fiorentino M., Oliveto G. *Informational entropy of fractal river networks*. *Journal of Hydrology*, 1994, no. 187(1-2), pp. 145–156.
14. Gallant J. C., Dowling T. I. *A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas*. *Water Resources Research*, 2003, vol. 39, no. 12, pp. 1347, doi:10.1029/2002WR001426.
15. Radula M., Szymura T., Szymura M. *Topographic wetness index explains soil moisture better than bioindication with Ellenberg's indicator values*. *Ecological Indicators*, 2018, vol. 85, pp. 172–179, doi: 10.1016/j.ecolind.2017.10.011.
16. Boehner J., Koethe R., Conrad O., Gross J., Ringeler A., Selige T. *Soil Regionalisation by Means of Terrain Analysis and Process Parameterisation*. *Soil Classification 2001*. Ed.: E. Micheli, F. Nachtergaele, L. Montanarella. European Soil Bureau, Research Report. Luxembourg, 2002, no. 7, pp. 213–222.
17. Mokarram M., Roshan G., Negahban S. *Landform classification using topography position index (case study: salt dome of Korsia-Darab plain, Iran)*. *Model. Earth Syst. Environ.*, 2015, no. 1, 7 p.
18. Ben-David A. *About the relationship between ROC curves and Cohen's kappa*. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2008, no. 21, pp. 874–882.
19. Scott Long J. *Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables*. *Advanced Quantitative Techniques in the Social Sciences*, 1997, No 7, pp. 104–106.



**Рязанов, С. С.**

Ландшафтные особенности развития почвенного покрова пойменных островов Куйбышевского водохранилища / С. С. Рязанов, В. И. Кулагина, Д. В. Иванов, А. Б. Александрова // Russian Journal of Ecosystem Ecology. – 2019. – Vol. 4 (2). – DOI 10.21685/2500-0578-2019-2-2.